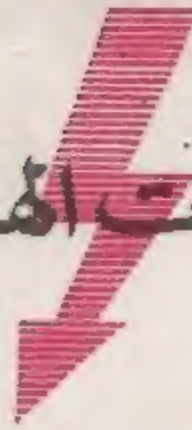


أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأساس
التكنولوجية



أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة
المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

0/1

حیات و خدمتات استاد

استاد محترم و بزرگوار
حضرت مولانا محمد رفیع
رحمۃ اللہ علیہ
تقریباً ۱۰۰ سالہ عرصہ میں

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هاني تزجراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضي

المهندس أمين قاسم سليم

c) Edition Leipzig, German Democratic Republic
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS

TECHNICAL FUNDAMENTALS من سلسلة :

تصدير

هذه السلسلة - الأسس التكنولوجية - ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر في لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تصافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تلتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتصفح لأمى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية - لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديمقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب - بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

1844

My dear Mother - I have just received your letter of the 14th inst. and am very glad to hear from you. I am well and hope this letter will find you the same.

I have just received your letter of the 14th inst. and am very glad to hear from you. I am well and hope this letter will find you the same.

I have just received your letter of the 14th inst. and am very glad to hear from you. I am well and hope this letter will find you the same.

I have just received your letter of the 14th inst. and am very glad to hear from you. I am well and hope this letter will find you the same.

Yours affectionately,
John C. Smith

مقدمة

كان التصدي للمفاتيح والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المجازفات الكبيرة في صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب في أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيائية الكهربائية والظواهر الكهربائية التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب متع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق في الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشي الموضوعات التي تناولها هذا الكتاب ، فقد روعي أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التي نعرضنا إليها في هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب في أسس الهندسة الكهربائية في جزئين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثاني على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والإماليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتماشى مع الاتجاهات الحديثة في عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلي للتواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التعميل على هذا الكتاب لتدريب العاملين في فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون في الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مدهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يمين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما في هذا العلم بسهولة ويسر .

Abstract

The following abstract, written by the author, is a summary of the main results of the paper. It is intended to be a brief and concise statement of the work, and is not intended to be a full and complete statement of the work.

The following abstract, written by the author, is a summary of the main results of the paper. It is intended to be a brief and concise statement of the work, and is not intended to be a full and complete statement of the work.

The following abstract, written by the author, is a summary of the main results of the paper. It is intended to be a brief and concise statement of the work, and is not intended to be a full and complete statement of the work.

The following abstract, written by the author, is a summary of the main results of the paper. It is intended to be a brief and concise statement of the work, and is not intended to be a full and complete statement of the work.

The following abstract, written by the author, is a summary of the main results of the paper. It is intended to be a brief and concise statement of the work, and is not intended to be a full and complete statement of the work.

المحتويات

صفحة

القسم الأول : الأساسيات الفيزيائية الفنية

الفصل الأول : تأثيرات التيار الكهربائي .

١٩	١/١ - التأثير الحرارى لتيار الكهربائي
٢٠	٢/١ - التأثير الضوئى لتيار الكهربائي
٢١	٣/١ - التأثير المغنطيسى لتيار الكهربائي
٢١	٤/١ - التأثير الكيمياءى لتيار الكهربائي
٢١	٥/١ - التأثيرات التنشيطية لتيار الكهربائي

الفصل الثانى : ماهى الكهرباء

الفصل الثالث : الشحنات الكهربائية

٢٦	١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة
٢٦	(أ) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية
٢٧	(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية
٣٠	(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها
٣٢	(د) خواص الشحنات الكهربائية
٣٥	٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة
٣٥	(أ) التيار الكهربائي
٣٦	(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي
٣٧	(ج) دائرة التيار الكهربائي

الفصل الرابع : الكميات الكهربائية الأساسية

٤٢	١/٤ - شدة التيار
٤٢	(أ) تعريف شدة التيار
٤٣	(ب) وحدة شدة التيار
٤٤	(ج) إيجاد قيمة شدة التيار

٤٥	٢/٤ - كية الكهرباء
٤٥	(١) تعريف كية الكهرباء
٤٦	(ب) وحدة كية الكهرباء
٤٦	٣/٤ - الجهد
٤٦	(١) تعريف الجهد
٤٧	(ب) وحدة الجهد
٤٨	(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد
٤٨	(د) التعاريف المتعددة للجهد
٤٩	٤/٤ - المقاومة :
٤٩	(١) تعريف المقاومة
٤٩	(ب) وحدة المقاومة
٤٩	(ح) إمكانية إيجاد قيمة وحدة لمقاومة
٥٠	الفصل الخامس : علاقة اشتدلة بين شدة التيار والجهد و لمدومة (فانور أوم)
٥٠	١/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / الجهد
٥١	٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة
٥٣	٣/٥ - تفسير قانون أوم
٥٦	(١) تعريف وحدة المقاومة
٥٦	٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية
٦١	الفصل السادس : مواد الموصلات ، ومواد المقاومات ، والمواد العازلة
٦١	١/٦ - العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة المقطع المستعرض
٦١	(ج) للموصل
٦١	(١) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله
٦٢	(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه للمستعرض
٦٤	٢/٦ - المقاومة والموصلية
٦٤	(١) المقاومة
٦٥	(ب) الموصلية
٦٧	٣/٦ - مواد الموصلات
٦٧	(١) مواد الموصلات وقيم مقاومتها
٦٧	(ب) وصف موجز لمواد الموصلات

٦٨	٤/٦ - مواد مقاومة
٦٨	(أ) قيمها ووصف موجز لها
٧٠	(ب) أنواع المقاومات
٧٣	(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة
٧٦	٥/٦ - المواد العازلة
٧٦	(أ) تصنيف المواد العازلة
٧٦	(ب) قيم المقاومة للمواد العازلة
٧٧	(ج) شرح موجز لبعض مواد عازلة
٧٩	(د) متانة الوسط الكهربائي العازل
٨١	الفصل السابع : دوائر بسيطة وشبكات كهربائية
٨١	١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات
٨٣	٢/٧ - النواثر البسيطة
٨٥	(أ) هبوط الجهد وفقد الجهد
٨٧	٣/٧ - الشبكات
	(١) إيجاد قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات المتصلة على التوازي
٩٠	في حالات خاصة
٩٢	(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي
٩٣	الفصل الثامن : الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية
٩٣	١/٨ - ملاحظات عامة على الشغل والقدرة
٩٣	٢/٨ - الشغل الكهربائي
٩٥	٣/٨ - القدرة الكهربائية
٩٧	٤/٨ - الكفاءة
١٠٠	الفصل التاسع : المغنطيسية والمغنطيسية الكهربائية
١٠٠	١/٩ - النواثر المصاحبة للمغناطيسات الطبيعية والصناعية
١٠٠	(أ) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية
١٠١	(ب) المغنطيسات الطبيعية
١٠٣	(ج) الاستباقية
١٠٤	(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية

٢/٩ - المجالات المغناطيسية	١٠٥
(أ) تعريف مفهوم المجال المغناطيسي	١٠٥
(ب) خطوط المجال المغناطيسي ونماذج خطوط المجال	١٠٥
٣/٩ - الظاهرة المغناطيسية الكهربائية	١٠٧
(أ) المجال المغناطيسي للموصل المستقيم الحامل لتيار كهربائي	١٠٧
(ب) المجال المغناطيسي لملف حامل تيار كهربائي	١٠٨
(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة لتيار كهربائي	١٠٩
(د) الموصلات والملفات الحاملة لتيار كهربائي في مجال مغناطيسي	١١٣
٤/٩ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغناطيسية	١١٤
(أ) الموصلية المغناطيسية - النفاذية	١١٤
(ب) المواد الدايامغناطيسية والبارامغناطيسية	١١٤
(ج) الحث المغناطيسي	١١٥
(د) العيصر المغناطيسي	١١٧
(هـ) شدة المجال المغناطيسي	١١٨
(و) التدفد المطلق لميز العلق	١١٩
(ز) التدفد النسبي	١١٩
(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغناطيسية	١٢٠
٥/٩ - الملفات الحاملة لتيار بقلب حديدي	١٢١
(أ) المواد المغناطيسية الحديدية	١٢١
(ب) التمهيط والتشبع	١٢١
(ج) التخلية	١٢٣
(د) المغناطيسات الكهربائية	١٢٤
الفصل العاشر : الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٦
١/١٠ - اختبار فاراداي	١٢٦
٢/١٠ - أشكال الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٧
٣/١٠ - قواعد وقوانين الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٨
(أ) اتجاه التيار المتحج بالحث في الموصلات والملفات	١٢٨
(ب) الحث المغناطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية	١٣٠
٤/١٠ - العلاقات بين المغناطيسية والكميات المنتجة بالحث	١٣٢

١٣٥	٥/١٠ - الحث الذاتي
١٣٦	٦/١٠ - الحث المغنطيسي الكهربائي في الموصلات المقطعة
١٣٩	الفصل الحادي عشر : تأثيرات المجالات الكهربائية
١٣٩	١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة
١٤٠	٢/١١ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات
١٤٠	(أ) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل
١٤٢	(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية
١٤٤	٣/١١ - كميات لتحديد المجالات الكهربائية المتجانسة
١٤٤	(أ) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل
١٤٦	(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية
١٤٨	(ج) معامل الوسط الكهربائي العازل
	(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت
١٤٩	الوسط الكهربائي العازل
١٥٠	(هـ) المواسعات
١٥١	(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات
١٥٢	(ز) فقد العزل لمواسع
١٥٤	٤/١١ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات
١٥٤	(أ) توصيل المواسعات على التوازي
١٥٥	(ب) توصيل المواسعات على التوالي
١٥٧	٥/١١ - الأنواع المختلفة للمواسعات
١٥٩	(أ) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة
١٦٠	(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة
١٦١	الفصل الثاني عشر : التيار المتردد
١٦١	١/١٢ - التيار المتردد الجيبي
١٦١	(أ) تعريف فكرة التيار المتردد
١٦٢	(ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغنطيسي
١٦٥	٢/١٢ - كميات لتحديد التيار المتردد
١٦٥	(أ) الموجة والنبوة
١٦٦	(ب) التردد والدورة

١٦٧	(ج) التردد الزاوى
١٦٨	(د) طول الموجة
١٧٠	(هـ) قيم الدروة والقم المحظية لمجهود المتردد والتيار المتردد
١٧١	(و) تعيين لقيمة المحظية
١٧٢	(ز) لقيمة المعدلة لمجهود المتردد والتيار المتردد
١٧٥	٣/١٢ - المقاومات الأومية والخثية والسعوية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(ب) المقاومات الخثية في دائرة التيار المتردد
١٧٦	(ج) تصرف ملفات المحثة في دائرة تيار مستمر
١٧٧	(د) تصرف ملفات المحثة في دائرة تيار متردد
١٨١	(هـ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد
١٨٣	(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد
١٨٥	٤/١٢ - الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية لتيار المتردد
١٨٨	٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٨٨	(أ) تمثيل التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٩٠	(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا
١٩٥	(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار
١٩٦	(د) المجال الدوار

القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكهربية

٢٠٠	الفصل الأول : الاختبار القياسى
٢٠١	الفصل الثانى : معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها
٢٠١	١/١٢ - اختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد
٢٠١	(أ) الاختبار بواسطة معين القطب
٢٠٢	(ب) الاختبار بواسطة معين الجهد
٢٠٢	٢/٢ - اختبار الاستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة
٢٠٤	الفصل الثالث : تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربية
٢٠٤	١/٣ - الكيات المراد قياسها - أجهزة القياس
٢٠٥	٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس
٢٠٧	(أ) دقة القياس

صفحة

٢٠٨	٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار .
٢٠٨	(أ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة لقياس
٢٠٨	(ب) أجهزة القياس بحديقة متحركة
٢١٠	(ج) أجهزة القياس بملف متحرك
٢١١	(د) أجهزة القياس بسلك ساخن
٢١٢	(هـ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية
٢١٤	٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة
٢١٥	(أ) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة
٢١٥	(ب) قنطرة القياس
٢١٨	٥/٣ - آليات الحركة لقياس الترددات
٢١٨	(أ) جهاز قياس بالريشة
٢١٩	(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة
٢١٩	٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة
٢١٩	(أ) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية
٢٢٠	٧/٣ - الترتيب على أجهزة القياس
٢٢١	٨/٣ - إطالة مدى القياس
٢٢٢	(أ) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة
٢٢٣	(ب) إطالة مدى القياس للفلطيرات
٢٢٤	(ج) إطالة مدى القياس للأميترات
٢٢٦	(د) جهاز القياس متعدد الأغراض لمجهود وشدة التيارات
٢٢٨	٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس
٢٢٨	(أ) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد
٢٣٠	(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة
٢٣٣	(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار

القسم الاول
الاساسيات الفنية العيزائية

الفصل الأول

تأثيرات التيار الكهربائي

يصحب التيار الكهربائي عدة تأثيرات ملحوظة (ظواهر) ويمكن تمييزها بما يلي :

١/١ - تأثير حراري .

٢/١ - تأثير مغناطيسي .

٣/١ - تأثير كيميائي .

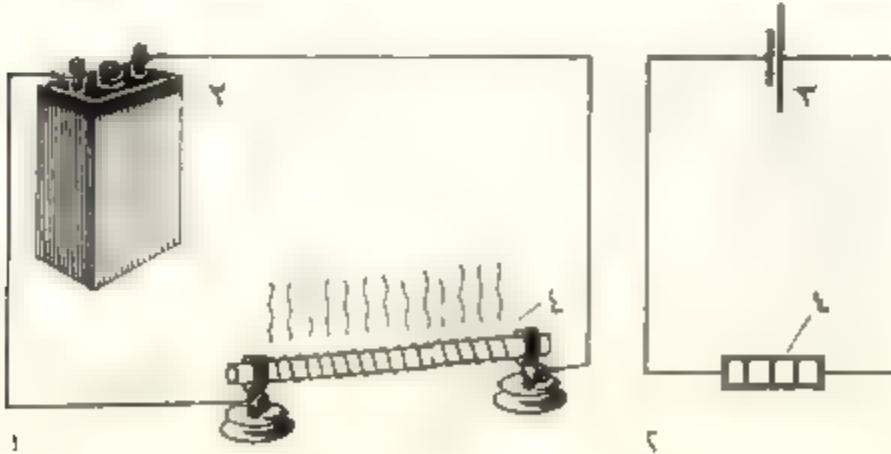
٤/١ - تأثير فسيولوجي .

٥/١ - تأثير فسيولوجي .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض لعلاج الطبى الكهربائي المتعدد الوجوه وعند التعامل بالتيار الكهربائي ، تلاحظ تدابير أمن واشراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجي للتيار الكهربائي .

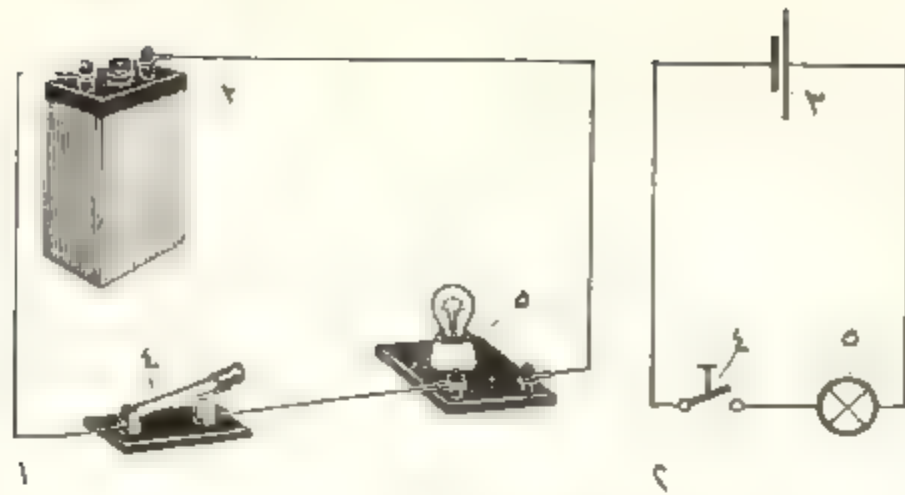
١/١ - التأثير الحراري للتيار الكهربائي :

يوضح الشكل (١) التأثير الحراري للتيار الكهربائي على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائي ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، (وسناقش هذا بمزيد من التفصيل في الفصل السادس) ، إذا استخدمت الحرارة لنتيجة عن تيار الكهربائي في الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .



شكل ١ : التأثير الحراري للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الحراري .
- ٢ - مصدر الجهد (تستخدم بطارية في هذه الحالة) .
- ٣ - مسخن كهربائي .
- ٤ - رسم الدائرة لتربية الاختبار .



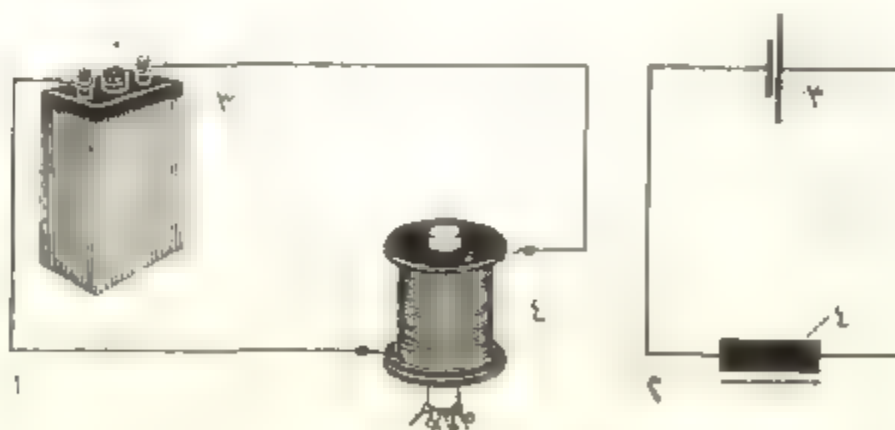
شكل ٢ : التأثير الصوتي لتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تمطيطي للتيار الكهربائي .
- ٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي .
- ٥ - مصباح كهربائي .

٣/١ - التأثير الصوتي لتيار الكهربائي :

يبين الشكل (٢) التأثير الصوتي لتيار الكهربائي . يؤدي مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائي ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الصوتي لتيار الكهربائي ، الذي ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحراري لتيار الكهربائي .



شكل ٣ : التأثير المغنطيسي لتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تمطيطي للتأثير المغنطيسي .
- ٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي .
- ٥ - مغنطيس الرفع الكهربائي .

وينتج تأثير ضوئي آخر في مصابيح التفريغ (مصابيح تفرغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع في الجزء الثاني بالقتل الرابع .

٣/١ - التأثير المغنطيسي لتيار الكهربائي :

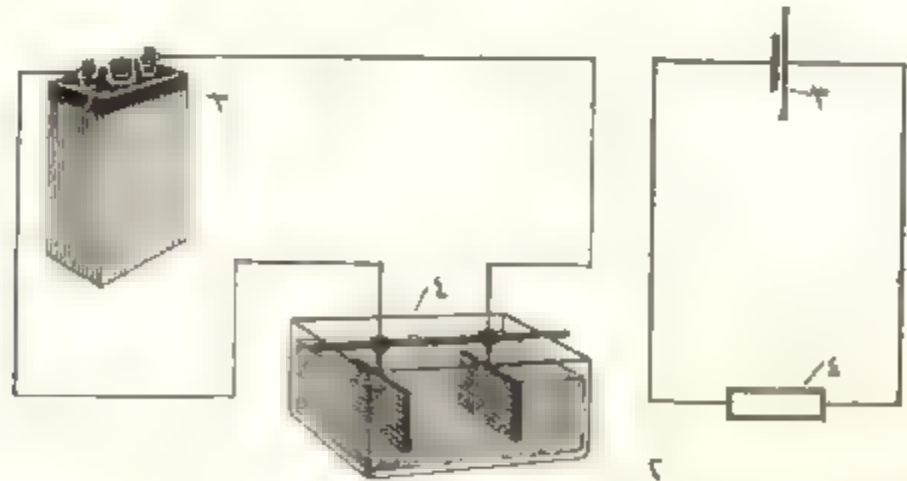
يبين الشكل (٣) التأثير المغنطيسي لتيار كهربائي . فينتج عن مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسي حول هذا الموصل . في الشكل (٣) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة تأثير المغنطيسي ، يولح قلب حديدي داخل الملف . وعن سبيل امثال لا الحصر ، يكون مغنطيس لرفع الكهربائي ، عبارة عن تصميم لمل هذا الملف يستخدم تجاريا .

٤/١ - التأثير الكيميائي لتيار الكهربائي :

يبين لشكل (٤) التأثير الكيميائي لتيار الكهربائي فيعرض مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائي (ماء مستحضر) ، إلى تغييرات جوهريّة . وعن سبيل امثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكروباته (هيدروجين وأكسجين) ، وذلك بإمرار التيار الكهربائي .

٥/١ - التأثيرات الانشيطية لتيار الكهربائي :

لتيار الكهربائي قدرة على لتشغيل ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائي . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيميائي لتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الكيميائي .
- ٢ - رسم الدائرة تربية الاختبار .
- ٣ - مصدر الجهد .
- ٤ - حوض إلكتروليتي .

ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم في على عمود إدارة محرك كهربائي مستخدم في إدارة مكبات التشغيل الصناعية . ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائي في تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدي تحويلات الطاقة دورا هاما في جميع مجالات الهندسية والتكنولوجية . ونظهر البحوث التي تمتح عنها في قانون بقاء الطاقة . أنه في مضمار تحويل الطاقة تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فيها تحتل الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر في شكل آخر : ومعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفتنى » .

الفصل الثاني

ما هي الكهرباء

حاول الإنسان كثيراً أن يستكشف هذا الكون الذي يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر في بذل هذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر في العلم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان في طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائي كجواهر كهربائي ، حتى أصبح هذا المعنى معروى وواضحاً له بدرجة كبيرة . وباستخدام النموذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء . وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التي تنفسها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية في الصغر تحمل أصغر كيات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء، ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية في الصغر « إلكترونات » .

ولتفسير ما هو « الإلكترون » يجب الإلمام التام بالمعرفة التي أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة » . فمثلاً ، عند تحليل أي مادة في المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

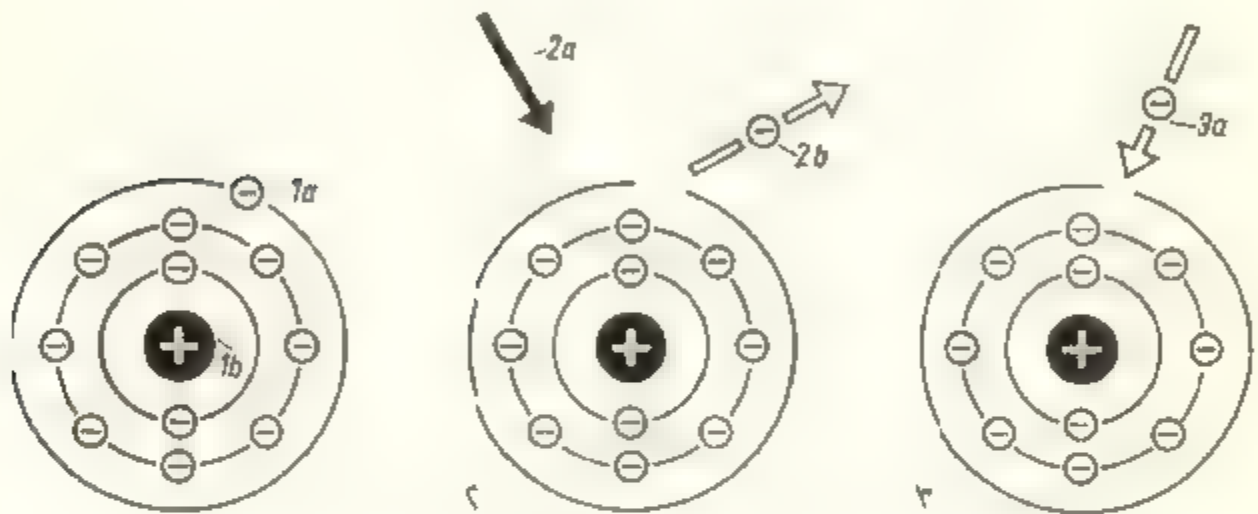
وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التي وجدت في الطبيعة ، فإن عدد العناصر التي تم تعيينها ما زال صغيراً ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، (مثل لرائحة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هي « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقاً ، الشيء غير لقابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها (لا انشطارية) غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بقي إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

ويبين الشكل (٥ - ١) نموذجاً للذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسي في تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهربائية منها ، وغير الكهربائية .

وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترونات أو أكثر ، يدور حول النواة في مدارات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعني أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة في تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التي تدور حول النواة كأنها الكواكب لياردة في المجموعة الشمسية . وينفس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية في حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة في حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

- | | |
|-----------------------------|---|
| ١ - ذرة صوديوم متعادلة . | ٢ - التأثير على الذرة . |
| ٣ - إلكترون بشحنة سالبة . | ٤ - إزاحة الإلكترون عن المدار الخارجي . |
| ٥ - نواة ذرية بشحنة موجبة . | ٦ - توازن الشحنات . |
| ٧ - انفصال الشحنات . | ٨ - إلكترون في نطاق قوى التجاذب الكهربائي . |

تظهر الذرة كأنها في حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجي بأي وسيلة ، بمعنى أن أصغر كيات من الشحنات الكهربائية التي تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل في مجموعها الشحنة المضادة التي تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة في حالة تعادل . ولتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كيات الكهرباء ، نعلم الشحنات التي تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة (-) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائياً . وتعلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة (+) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائياً .

إذا تعرضت ذرة (أو عدة ذرات) لمؤثرات خارجية (لعمل ميكانيكى أو كيميائى ، مثلا) ، فبد شرط التعادل فى ذرة يتغير ، وكنتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائى السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم الميسر أعلاه ، انفصال الشحنة « . ويحدث انفصال الشحنة هذا فى مصدر كهربائى (مركب - دينامو - مولد) .

ويحدث خلل فى توازن قوى التجاذب الكهربائى فى الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة فى حالة تحمل شحنة لانفصال الشحنة ، تحدث قوى التجاذب الكهربائى تأثيرا يجعل هذا الإلكترون يتحرك فى مدار معين حول النواة ، حتى تبدو الذرة كأنها فى حالة توازن وبين الشكل (هـ) توصيفا لهذه اتفسيرات بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .

الفصل الثالث

الشحنات الكهربائية

١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة :

يميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وطواهرها ، هي موضوع دراسة الكهرباء الاستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الطواهر الأساسية للكهرباء الاستاتيكية ، إلى جانب وضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

(١) نبذة تاريخية عن طواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ ثيسر (Thales) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليوناني ، منذ حوالي ٢٥٠٠ عام أنه عند ذلك قطعة من الكهرباء بقطعة من الصوف ، يجد أن قطعة الكهرباء تنجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعمو أن الكهرباء اندي أطلق عليه اليونان اسم الكهرباء (elektron) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالي ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أي اهتمام . ومن حوالي ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزي جلبرت (Gilbert) أبحاثاً في الطواهر الأساسية للقوى الكهربائية التي يطلق عليها باللاتينية (Vis electrica) وقد حاول جلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التي يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشحم الختم وأمكريت من المواد القابلة للتكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للتكهرب » .

وبعد ذلك بحوالي ١٢٥ عام أثبت حراي (Gray) ، زميل جلبرت في الوطن ، أن ما ذكره جلبرت عن عدم قابلية المعادن للتكهرب غير صحيح . وفي ألمانيا عمدة جوريك عاصمة مجد ريج ابتكر أوتو (Otto) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت فذلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإصاءة واثرة الكهربائية ، كتبه وال (Wall) في عام ١٧٠٨ وفي منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسي دوفوي (Dufay) لتصرف المختلف للمواد المتينة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب (+) وسالب (-) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيائية كهربائية في مدينة ليدن (Lyden)

هولندا ، نتج عنه اختراع المواسع (المكثف الكهربائي) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكي بنى أول «انفة صولحق» في عام ١٧٥٢ .

وكانت أعمال كولوم (Coulomb) رائدة في مجال الشحنات الكهربائية . ولقد نه

اختراعاته في حوالي عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم في قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بانتشار الشحنات الكهربائية .

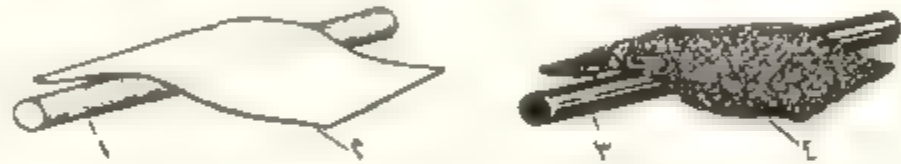
وبعد ذلك ، أخرى فراداي (Faraday) العالم الشهير ، أحدثاً لمعرفة كمية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التمثيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلب :

عند ذلك قضيب من انزجاج بقطعة من الخلد ، أو قضيب من المطاط الصلب بحرقه من الصوف ،

كما في الشكل (٦) من هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما في الشكل (٧)



شكل ٦ : قضيب من انزجاج وآخر من المطاط الصلب معدان لافصال الشحنة .

١ - قضيب من الزجاج .

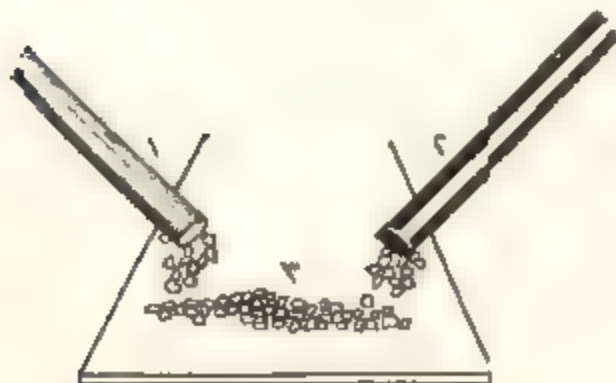
٢ - قضيب من المطاط الصلب .

٣ - حرقه من صوف .

٤ - قطعة من الزجاج .

يتضح أن لفعل الميكانيكي (لذلك) قد سبب انعدام التعداد الكهربائي ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تحددب نقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية انماجه بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الاحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكفي للحصول على فعل لقوة الكهربائية . كما هو مبين في الشكل (٧) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الاحتكاك » .



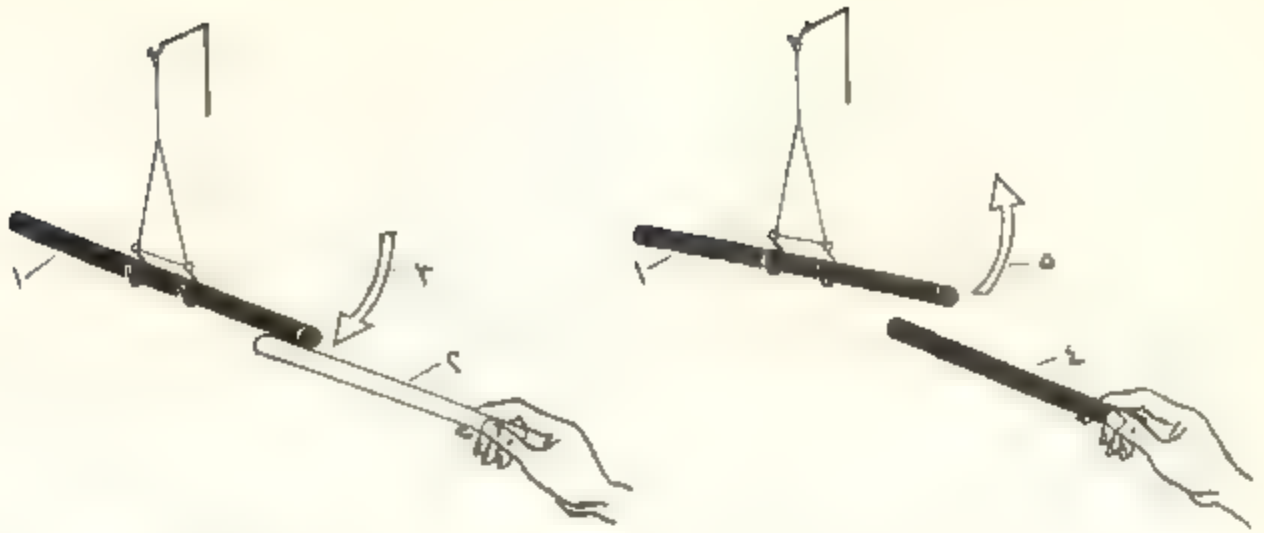
شكل ٧ : القوى الناتجة عن ذلك قضيبين أحدهما

من الزجاج والآخر من المطاط الصلب .

١ - قضيب زجاج .

٢ - قضيب مطاط صلب .

٣ - قطع صغيرة من الورق .



شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين ممدولين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلب تجاه كل منهما للآخر .

- ١ - قضيب من المطاط الصلب معلق حر الحركة .
- ٢ - قضيب زجاج .
- ٣ - تجاذب (قوة - فعل) .
- ٤ - قضيب مطاط صلب .
- ٥ - تنافر (قوة - فعل) .

بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلب المدركة على قصاصات الورق ، نبيّن هنا فعل كل منهما على الآخر . ويبيّن الشكل (٨) ترقية لقضيب من المطاط الصلب المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا دلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعني أنه انجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلب المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر ، وهذا يعني أنه تنافر بعيداً عنه .

ولستخص من مناقشنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات هما تأثيرا ديناميكيان ، أحدهما تجاذب والآخر تنافر . وبالتالي أمكن الوصول إلى الآتي : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة (+) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلب شحنات سالبة (-) » وهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاينكي كهربائي لفعل القوة كـ يل .
تجاذب الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تنافر الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

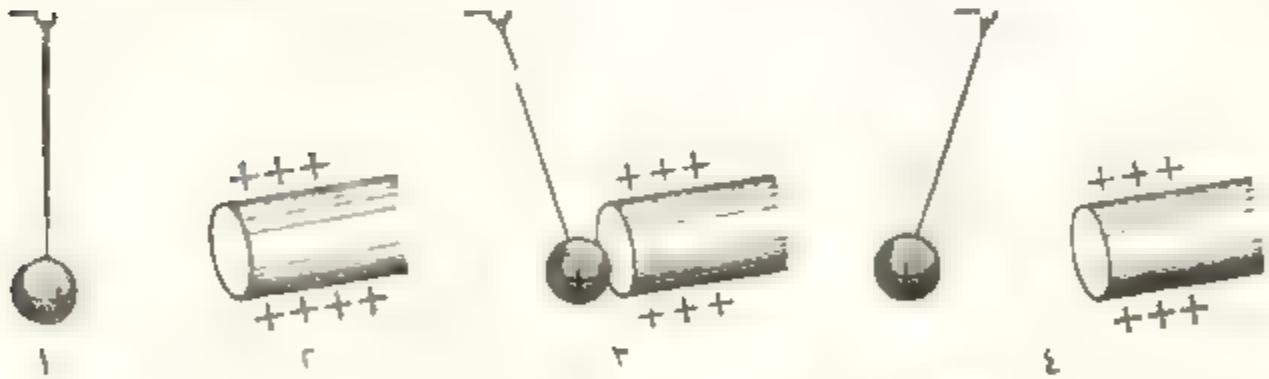
تمثيل التأثيرات الديناميكية (أفعال القوة) ، الشحنات وتعادل الشحنة :

ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية ، والمبينة على نماذج تستخدم لفهم جوهر الكهرباء . ويبيّن الشكل (٩) كرة من نحاس البلسان (نوع من البات) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من انزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، يجد أن الكرة تتحرك في اتجاه قضيب الزجاج .

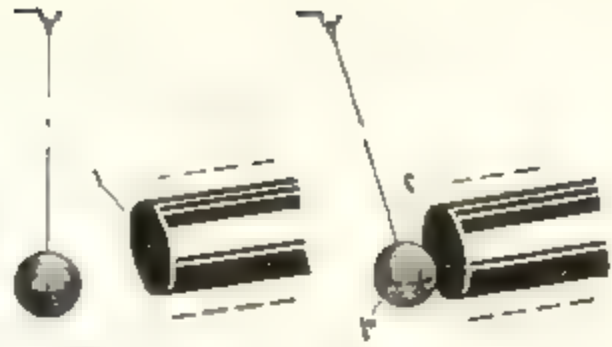


- شكل ٩ : يبين الشكل تصرف قضيب مدلولك من الزجاج وكرة من نخاع اللسان تجاه كل منهما الآخر .
 ١ - كرة من نخاع اللسان معلقة حرة الحركة .
 ٢ - التجاذب لقضيب الزجاج .
 ٣ - الرجوع إلى الوضع الأصلي .
 ٤ - عند تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع اللسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصلي بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وبعادة تقريب اقضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة . تباعد عنه ، ويعنى هذا حدوث قوى تنافرية .
 وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .
 عند تقريب قضيب مدلولك من المطاط الصلب نكرة من نخاع اللسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً ، نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة في الشكل (١١) .



- شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة في الشكل (٩) .
 ١ - كرة من نخاع اللسان متعادلة كهربائياً (الشحنات الموجبة والشحنات السالبة متساوية) .
 ٢ - قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .
 ٣ - عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة (تحمل كرة اللسان شحنة موجبة ، بينما تنخفض الشحنة الموجبة التي يحملها قضيب الزجاج) .
 ٤ - عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة اللسان طبقاً لقانون فعل القوة المغناطيسية .



شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع
اللسان تحمل شحنة موجبة وقضيب مدلولك من
المطاط الصلب ، كل منهما تجاه الآخر .

٢ - يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة
اللسان وقضيب المطاط .

٣ - تصبح كرة نخاع اللسان متعادلة كهربائياً .

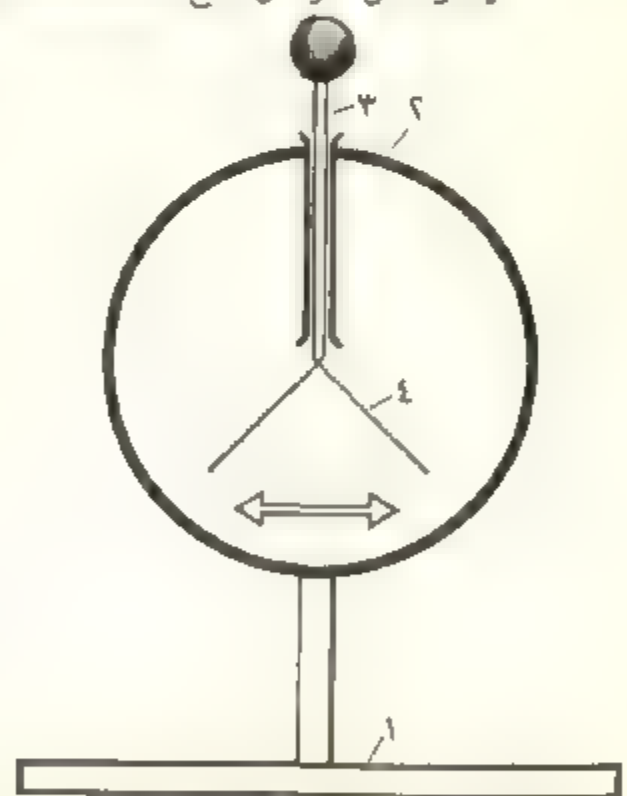
١ - يقرب قضيب من المطاط الصلب
يحمل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع اللسان
تتحمل شحنة كهربائية موجبة .

(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح هنا أهم الأجهزة المستخدمة في أغراض الكهرباء الاستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة
خصائص للشحنة الكهربائية .

البندول الكهربائي :

يتكون من كرة من نخاع اللسان معلقة بخيط مشمت في حامل من مادة عازلة ، أي من مادة



شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائي :

١ - حامل .

٢ - استطوان معدنية .

٣ - أنبوبة عازلة وقضيب معدني .

٤ - مؤشر .

شكل ١٢ : البندول الكهربائي :

١ - حامل .

٢ - خيط .

٣ - كرة من نخاع اللسان .



شكل ١٤ :

جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائي .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . في الشكل (١٢) ، تأرجح كرة اللسان بصل اشحنات الكهربائية .

مكشاف وولف الكهربائي : (إليكتروسكوب وولف) :

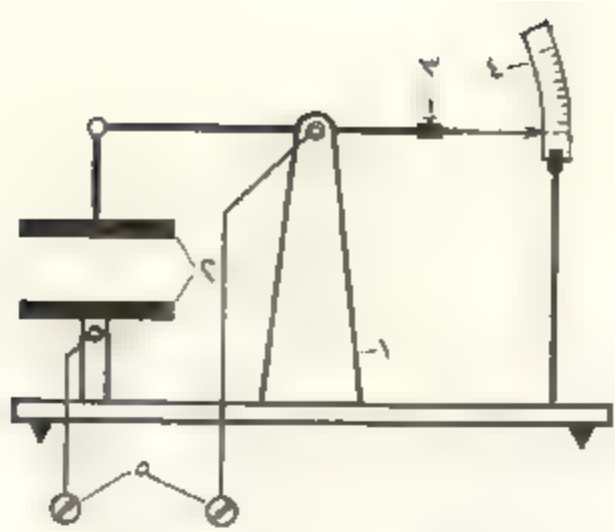
يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل ممزوع ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدني ، بطريقة بحيث يكون ممزولا عنها وتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما في الشكل (١٣) ، ويعتمد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن المكشاف كهربائياً ، نتيجة للتأثر المتبادل بينهما .

جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائي ، وبه مؤشر واحد بدلاً من المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما في الشكل (١٤) . ويحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين (فعل القوة الكهربائية) . ويستخدم هذا الجهاز في بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين عكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين في هيكل الجهاز تثبيتاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التي تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض



شكل ١ :

جهاز قياس فرق الجهد المطلق .

١ - هيكل .

٢ - لوحان معدنيان .

٣ - ثقل التوازن .

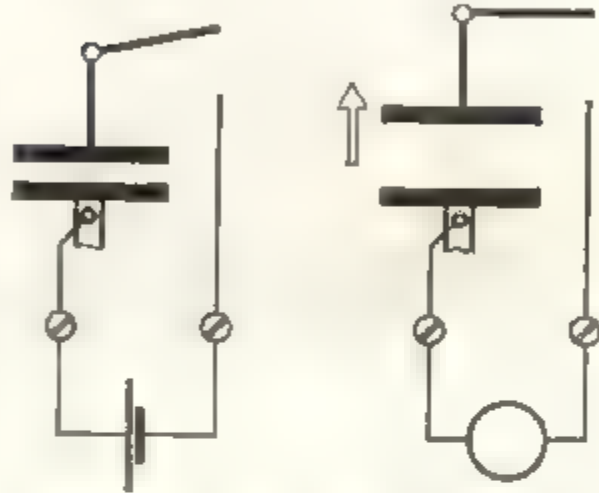
٤ - تدريج .

٥ - حرف نهاية .

٦ - يتقارب اللوحان عند تسليط جهد .

٧ - يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان

لوضعهما الأصل عند توصيل جهاز قياس .



اللوحان تتعادل متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرفي الجهاز (بتوصيل بطارية مثلاً ، بطرفي الجهاز) . فإذا وصل بعد ذلك فللمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصل ، الشكل (١٥) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة (قياسات المقارنة وأعمال المعيرة)

(د) خواص الشحنات الكهربائية :

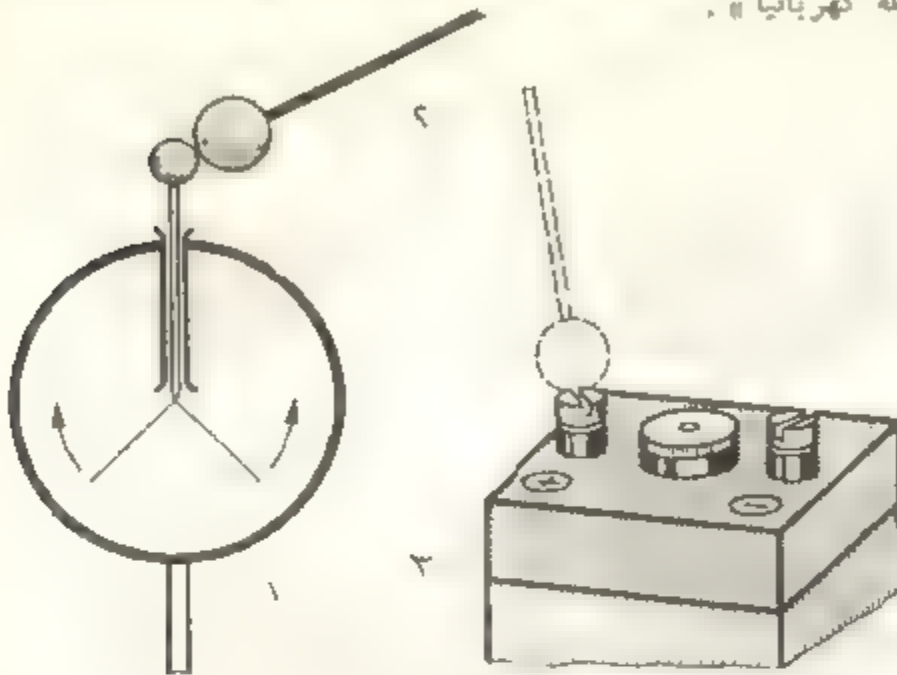
المنقولة والتجزئية :

يوضح الشكل (١٠) والشكل (١١) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال (منقولة) ، ولها خاصية أخرى وهي قابليتها للتجزئة (التجزئية) . ويوضح الشكل (١٦) ترقية تساعد على إعطاء الرهان اكبر لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائي ، مكون من مقبض معزول في نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائي (إليكتروسكوب) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتي المكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما ننقر الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائي من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تضاؤل انحراف رقيقتي المكشاف شيئاً شيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه (الشكل ١٧) .

التلصق السطحي :

لقد أُحرِثت عدة أمثلة معروفة كيميائية لاحتراق الشحنة الكهربائية للأحجام - وهي يحدث هذا لاحتراق كلياً أو جزئياً - وتم توصّل إلى نتيجة -ية - تستقر شحنتان كهربائيتان دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً .



شكل ١٦ :

تجزئة الشحنتان

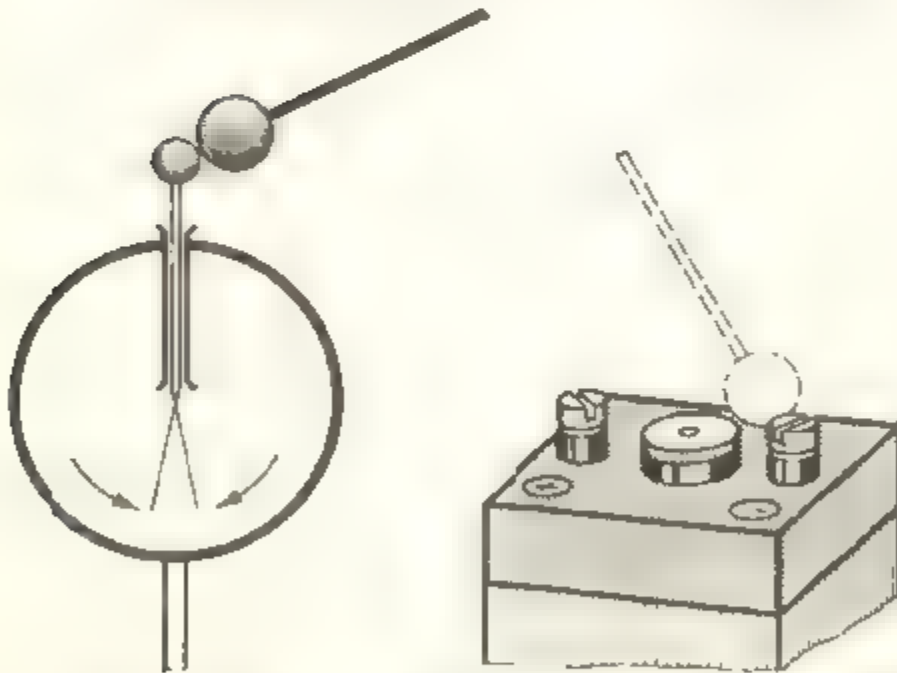
الكهربائية :

١ - مكشاف كهربائي

١ - مستوى اختبار

كهربائي .

٢ - بطارية .



شكل ١٧ :

أسباب تجزئة الشحنتان

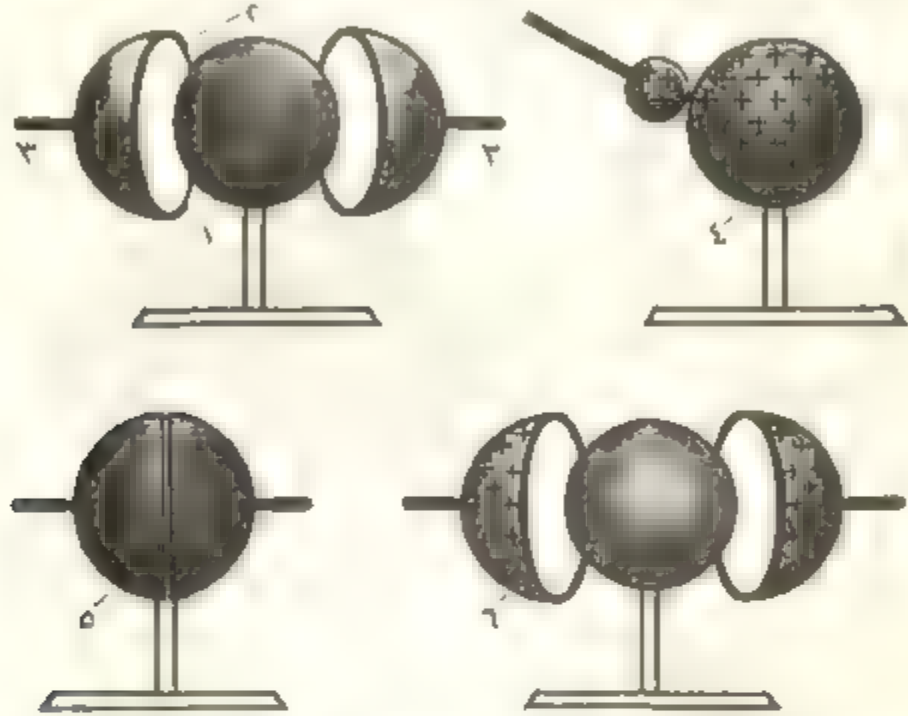
الكهربائية عند تفريغ

المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة برتية الموصلة في شكل (١٨) وتكون هذه برتية من كرة محوفة ونصفي كرة محوفين من المعدن . ولكل من الأخيرين مقص معزول ويمكن نصف الكرة أو يطلق تمام الانطلاق كل على النصف الآخر به من الكرة الكامنة وتشتت هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائي من بطارية ، ثم يطلق نصف الكرة على لكرة

المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحرك يد بعيداً عنه . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصف الكرة ، بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

و تستخدم هذه طريقة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح الأجسام في الأغراض الهندسية ، فمثلاً ، في صناعة موانع انصواع ، وفي حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة في هندسة التردد العالي ، وفي دلائل الموجة المعدنية المحوفة المستخدمة في نقل الطاقة الكهربائية العالية

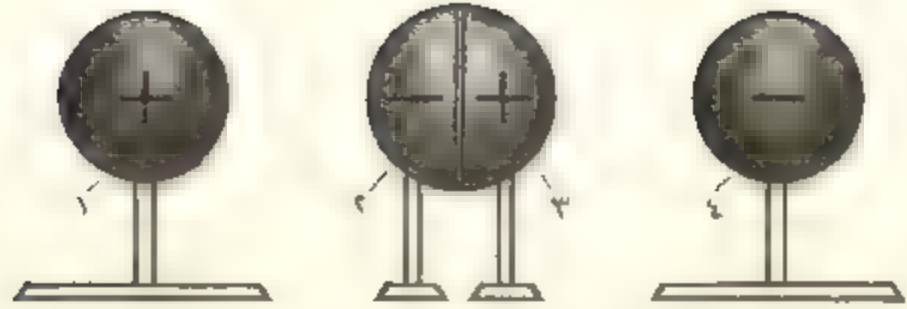


شكل ١٨ : التصاق الشحنات الكهربائية بالسطح :

- | | |
|------------------|--|
| ١ - كرة معدنية . | ٤ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة . |
| ٢ - نصف كرة . | ٥ - نصفاً كرة متطابقان على كرة مشحونة . |
| ٣ - مقبض معزول . | ٦ - شحنات موجبة على سطح نصف الكرة بعد إبعدها . |

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية مسح أى جسم مكهرب جسماً آخر شحنات كهربائية ، دون أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصف كرة بحيث يتلامس وجهها تماماً ، وذلك بين كرتين معدنيتين (من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨) ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى (إحدهما موجبة والأخرى سالبة) يختبر نصفاً الكرة قبل وضعهما في مكانهما ، لكأكد من أنها غير مشحونتين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائي . وترك نصفى الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نبدأ بهما أصبح يحملان شحنة كهربائية . وهذا يعنى أنهما قد شحنتا بالتأثير .



شكل ١٩ : الشحن بالكثير :

- ١ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
- ٢ - نصف كرة عليه شحنة موجبة .
- ٣ - كرة معدنية عليها شحنة سالبة .
- ٤ - نصف كرة عليه شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصف الكرة يتم في نفس الوقت . وبحمل نصف الكرة المواجه للكرة الموشحة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل تلك الشحنة موجبة . ويستنتج من هذه الظاهرة ما يلي :

أولاً - حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أحجام الاحسام . فإن الحث يندمج خلال الوسط المحيط بها (وهو الهواء في هذه الحالة) .

ثانياً - أنه ليس من الضروري أن تكون الأحسام التي لا تشحن لا تحمل للكهرباء . كما يصبح ذلك من فصل الشحنات على نصف الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأحسام يحدث أيضاً في أوساط أخرى مثل الفراغ والريث .

تكون الشحنات الكهربائية على المعدن قليلة للاتصال والتحررية . وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال لشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلاً كهربائياً من قبل ذلك .

٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة :

(أ) التيار الكهربائي :

يطلق على الأجهزة والمعدات التي يتم فيها انفصال لشحن « مصدر للجهد » ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائبة والأعمدة الابتدائية التي تستخدم في شحن الجيوب ، وكذلك المولدات المستخدمة في محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التي يتم بها انفصال لشحنات في مصدر الجهد . وفي هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن لشحنات الكهربائية المتصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون لطرف الموحد لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذي يوجد به « نقص في الإلكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لمصدر الشحنة السالبة هو المكان الذي به « زيادة في الإلكترونات » .

وعندما يكون طرف مركب في وسط كالهواء ، مثلاً ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمن طويلاً جداً (قد يبلغ عدة ساعات) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنياً كالنحاس مثلاً ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة (الإلكترونات) خلال هذا المعدن

في اتجاه طرف الموصل لمصدر جهد و في جهة أخرى في اتجاه مصدر جهد .
« مريدن التيار الكهربائي » .

وتسمى الأجزاء من يسرى إلى اليمين خلاص تيار كهربائي . حيث تكون هناك شحنات
كهربائية متحركة . الموصلات الكهربائية . بينما تسمى الأجزاء الأخرى « غير الموصلة »
وتعتبر التوصيل أو مريدن مسار خلال موصل . نوع من أنواع مريدن التيار . وهناك
أنواع أخرى من مريدن التيار الكهربائي خلال الموصل موصلة (كالكربون) . وخلال مريدن
والتي هي الموصلة في مريدن . وتسمى خلال المواد شبه موصلة . وفي الأخيرة تكون مجموعة
من المواد . يمكن إيجاد جهدين للموصلات . غير الموصلات . مع جهة نفسها جهة الكهرباء
في الاعتبار . وسنقترب بالتفصيل فيما بعد . مع مريدن التوصيل . الكهرباء

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي في المعادن :

التركيب الذري للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة في حالتها الطبيعية . وتتكون المعادن البنية من ذرات - تكون بنية

منتظمة تسمى « التشكيل البلوري للمعادن » . كما في الشكل (٢٠)

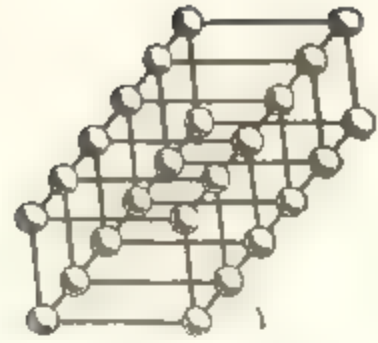
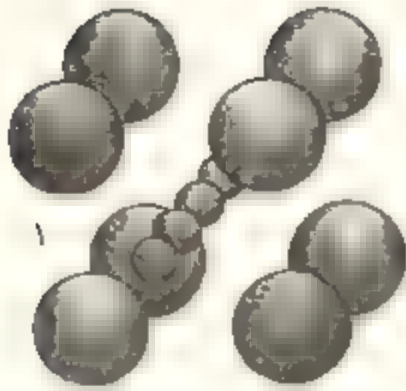
وتتفصل الإلكترونات عن ذراتها في هذه الترتيب البلوري للذرات . ويصحب عن الذرات
الذرية المنتهية أنبوب . وتترتب هذه الذرات مع بعضها البعض في قوائم الكهربائية
لاستكمالها . توصف هذه العناصر بعضها البعض . وتتحرك الإلكترونات الشاردة خلال
تركيب المذنين . وهذا ما يتعرض المعدن لأي تأثير كهربائي . لا يكون لحركة الإلكترونات
الحررة أي اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا كهربائيا .

حركة الإلكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

يسمى الشكل (٢١) نموذج من موصل كهربائي به إلكترونات حرة تصحب أيضا الإلكترونات
توصيلية . ويعطى شكل (٢٢) ريدد في الاتجاه للمودج . مع الأخذ في الاعتبار أن
الإلكترونات الحرة تمكث في اتجاه . ويمثل هذا الشكل نموذجاً لأسونة والإلكترونات
بداخلها كأي كرت . ويسمى شكل (٢٣) مصدر الجهد يمثل بمصدره نموذج

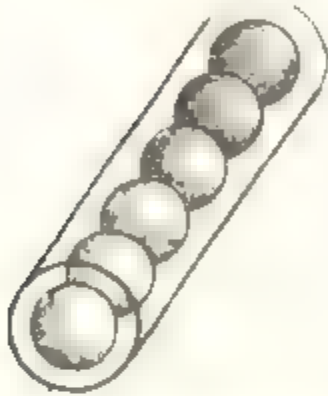
يفسر تعادل الشحنات في حالة توصيل طرفي مصدر الجهد بموصل معدني على الوجه التالي
حيث في أحد الإلكترونات حرة التوصيل مع جهة أخرى في جهة أخرى في جهة أخرى . وهذه
الإلكترونات آخر . حيث تفرغ منه . حيث في جهة أخرى في جهة أخرى في جهة أخرى . ويحيط
هذا بالنظر إلى الإلكترونات مسبباً دفعه في نفس الاتجاه . حيث عند بلورة الإلكترونات ، ويحيط
الإلكترونات الثالث إلكترونات رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية

• نتيجة لذلك تتحرك الإلكترونات الحرة في الموصل المعدني في اتجاه مفصل نحو المكث الذي به
نقص في الإلكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .



شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطي للتركيب السورى : شكل ٢١ : نموذج لموصل معدنية بكميات حرمة :
١ - جزئى أولى .

شكل ٢٢ : نموذج مبسط للإلكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين في شكل ٢١

سرعة الانتشار وسرعة الإنسياب :

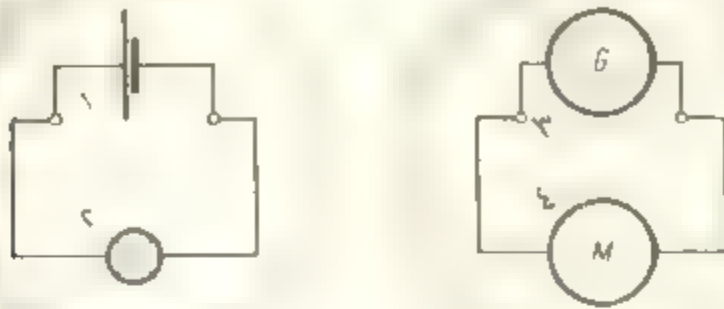
عندما نوقد مثلاً ، مشعل حطب ، تسمى سرعة لانتشار من برمن حطب يشتمل مشعل وهذا
بين أن الكهربية تنتشر بسرعة قدرها ٣٠٠٠٠٠٠ ك/ثانية ونجد ألا يكون هناك حطب من
سرعة انتشار الكهربية وسرعة السيول الإلكترونية ونجد امتداداً . . . شكل (٢٢)
ويحدث انتشار الدفع بسرعة كبيرة وهذا يعنى أن سرعة الإلكترونات
دفعاً سوف تكون قصيرة جداً . بينما يكون التيار لارم سري جداً . حتى يصل
إلى المكان الذى به نقص فى الإلكترونات أو لنوعه . وقد وجد أن سرعة الإلكترونات
تكون حوالى ١٠ م/ثانية .

تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة " ليار الكهربية " وتوصيل التيار فى الموصلات
المعدنية هو توصيل للإلكترونات . أى تتحرك الإلكترونات من المكان الذى به زيادة فى الإلكترونات
إلى المكان الذى به نقص فى الإلكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار الكهربية وسرعة الانسياب
للإلكترونات .

(ج) دائرة التيار الكهربائى :

يكون أى نظام كهربائى من مصدر للمهد . وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء . وسلك
آخر منه يرجوع إلى المصدر " دائرة تيار كهربائى " أو لاحتصار " دائرة كهربائية "

وتبين الأشكال من (١) إلى (٤) مثل هذه الدوائر . وفي الحياة العملية تدعى هذه دائرة تشغيل في لائفة الكهربية (كما في الشكل (٢) على سبيل لمثل) وذلك بفتح وقفل الليرة بالطريقة المطلوبة .

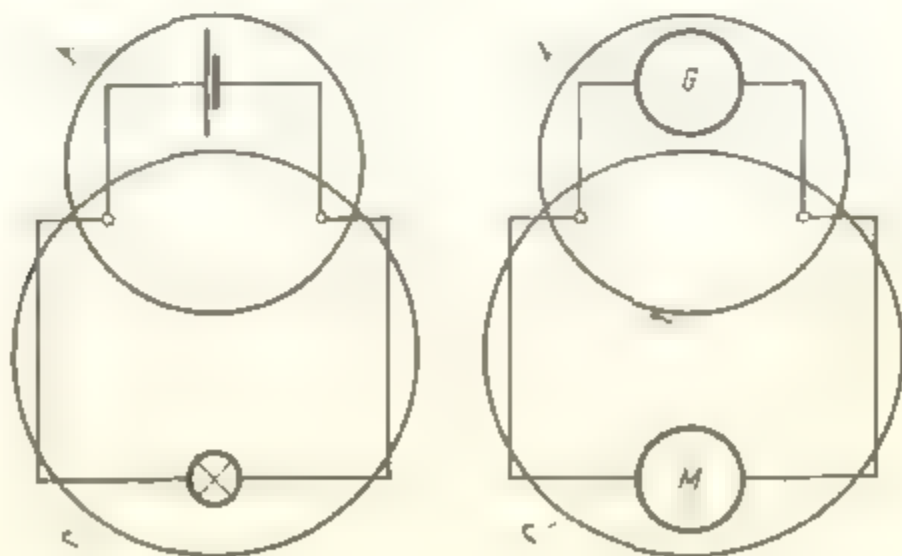


شكل ٢٤ : مقارنة بين دائرتين .

- ١ - بطارية كصدر للهد (بطارية) .
- ٢ - مصباح كهربي .
- ٣ - مولد كهربي كصدر للهد .
- ٤ - محرك كهربي .

الدوائر الكهربية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل (٢٤) دائرتين كهريتين ، ولرعم من اشكال على عناصر أو مركبات مختلفة (مصادر الهد ، مركم ومولد ، مستخدمات كهربية مصباح متوهج ومحرك كهربي) ، فانه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتبر الدوائر . بدوثر دحليه وأخرى خارجيه . ويجري مثل هذا التمييز لعدة أسباب مهابا إلى : عندما نأخذ في لاعتبار دائرة كهربية من اوية سريان الالكترودات ، نأخذ أن لالكترودات تسري خلال الدائرة الخارجية من

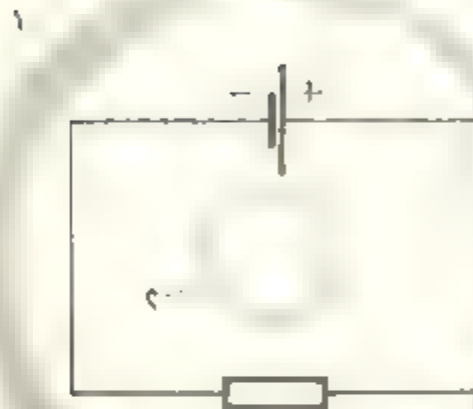


شكل ٢٥ :
دوائر كهربية داخلية
وخارجية :
١ - دائرة كهربية
داخلية .
٢ - دائرة كهربية
خارجية .

الطرف المشحون بالسالب مصدر الجهد خلال الموصل ويظهر إلى الطرف المشحون بال موجب للمصدر ، وتسمى الإلكترونات في الدائرة الداخلية اتجاه عكس ذلك (الشكل ٢٥)

تعريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر وتكون جميع مصادر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائي فقط في الدائرة الكهربائية المغلقة .



شكل ٢٦ :

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

١ - اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .

٢ - اتجاه سريان التيار الكهربائي (اتفاق) .

تستخدم مصدر جهد في توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق (بالفصل الأول) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيراً دقيقاً . لأن ما يحدث فعلاً هو تحويل للطاقة وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائي من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائي ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التي تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها . ويطلق على هذه الأجهزة عدة « محولات الطاقة » (حيث لا يتشتر المصطلح « حمل » المستخدم . في كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل في توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائي

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الإلكترونات في دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات ، أي الطرف المشحون بالسلب أو القطب السالب

لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا مصدر وقبل ستحتاج هذه الجمعية . كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية . كما نقل الفيزيائيون الكهربائيون و استعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم وقد اتفقوا احاديثا في هذا الخصوص على ما يلي
يكون اتجاه التيار الكهربائي من القطب موجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد ويصاد ذلك السريان المعنى للإلكترونات وبين الشكل (٢٠) هدير لانتجائهم

ويمكن تفسير عدة صوهر كهربائية على أساس تيارات الإلكترونات و لا يودت .
وسمين ذلك عند ورود أي من هذه التفسيرات في هذا الكتاب .

الفصل الرابع

الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج لأبحاث علمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معروفة بدقة تامة ، ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن - الطول - الكتلة - القوة ،

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة في الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، هذه الرموز . وعلى سبيل المثال يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة في الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هي : شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة ، والمواصلة ، والمهاعة .

ويستخدم بقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هي المتر . وتستخدم رموز ، عادة ، للتمييز عن الكميات . فيما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلي :

الوحدة	الاختصار
ثانية	ث
متر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة في الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هي : لامبير ، والغلط ، والأوم .

وينصح في كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، مثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات في كثير من الأحيان بالمتر . بل تعطى بالكيلومتر مثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر (١٠ كم) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ، أي أن ١ كيلومتر = ١٠٠٠ متر (١ كم = ١٠٠٠ م) .

وعدة ، توقع الأبعاد على رسومات أنتشيل الهندسية بـليمتر ، فمثلا طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر (٢٤٠ م) . وليمتر هو جرد من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠ مم ، أى أن (١م = ١٠٠٠ مم) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١.٠٠٠.٠٠٠ واط . وفيما يلي اختصارات المضاعفات وأجزائها الأكثر استخداما .

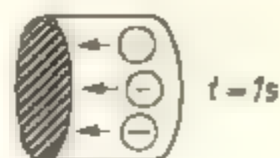
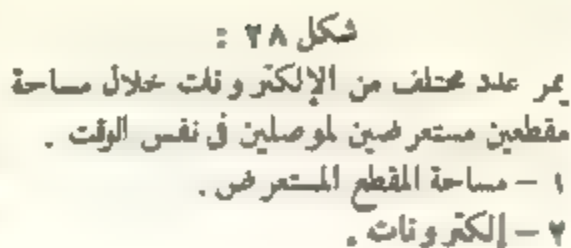
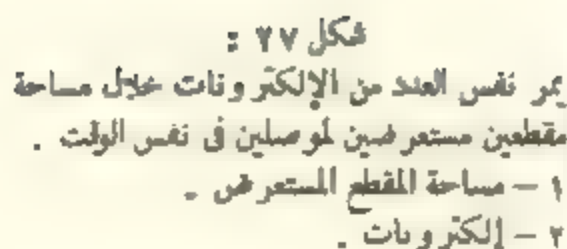
المصطلح	الاختصار	القيمة
Tera	تب	T ١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
giga	جـ	G ١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
mega	مـ	M ١٠٠٠ ٠٠٠
kilo	كـ	K ١٠٠٠
hecto	هـكـ	h ١٠٠
deca	دـ	da ١٠
—	—	١
deci	دسـ	d ٠,١
centi	سـ	c ٠,٠١
milli	مـ	m ٠,٠٠١
micro	مـكـ	μ ٠,٠٠٠ ٠٠١
nano	نـ	n ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١
pico	بـكـ	P ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١

١/٤ - شدة التيار :

(١) تعريف شدة التيار :

كثيرا ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، ورغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقد يؤدي هذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة في الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الإلكترونات المارة خلال مقطع من موصل في الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفي المساحة ، ويمر حلالهما نفس العدد من الإلكترونات (ثلاثة في الحالتين) في الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية في كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعهما المستعرضين .



ولشكل (٢٨) مثال لموصلين متساويين في مساحة مقطعهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التي تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوي يساوي نصف عدد الإلكترونات التي تمر في نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلي . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار في الموصل العلوي يساوي نصف شدة التيار ، فقط ، في الموصل السفلي .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هي الأمبير (وتكتب باختصار عب)

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مب

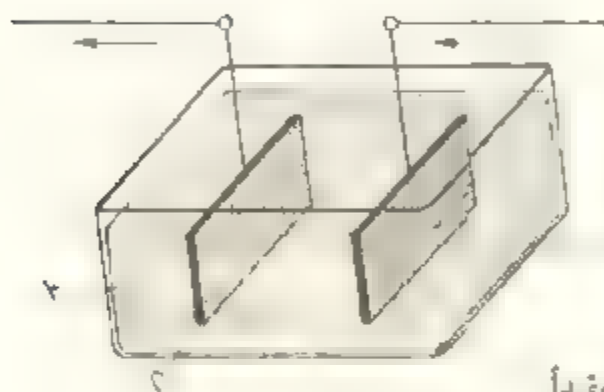
وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الفيزياء الفرنسي أمبير (Ampère).

وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالي :

أمير	٢	٠٠٠٠	حتى	٢	أمير	الصواعق
أمير	١	٠٠٠٠٠			أمير	أفران الصهر
أمير	١	٠٠٠٠			أمير	إنتاج الألومنيوم
أمير	١	٠٠٠			أمير	في الحمام
أمير	١	٠٠			أمير	بادئ الحركة للسيارة
أمير	٦		حتى	٦	أمير	الأجهزة المنزلية الكهربائية
أمير	٠,٥				أمير	الشلاجة الكهربائية
أمير	٠,٢				أمير	المشعل الكهربائي
أمير	٠,٠٠٠٥				أمير	أنايبب إلكترونية لاسلكية
أمير	٠,٠٠٠٠٠٠٦				أمير	سماعة أذن المستقبل الكاشف

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن اشتقاق كليات أخرى منها . مثلاً ، يمكن اشتقاق الكمية « المساحة » بسهولة من كمية الأساسية « الطول » (الطول بالمتر ، والمساحة $= \text{ل} \times \text{ل} = \text{ل}^2$ بالمتر المربع) . ويمكن بسهولة موحداً إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . مثلاً ، يتجمع المبر الأساسى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ ، ممتدة فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على مستوى الدول ، ملائمة أى حدث قد يحد ، فى مجال تنظيم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .



شكل ٢٩ :

حوض جلفانى أو الكتروليتى يستخدم لترسيب الفضة .

- ١ - وعاء .
- ٢ - إلكترود .
- ٣ - محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار بعد أنها أكثر تعقيداً

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيمياء التالية :

يمر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، (الشكل ٢٩) ، حوى محلول نترات فضة القلوى كمائل موصل كهربائياً ، يتحلل عند أطرافه كيميائياً ، وترسب نترات فضة على أحد الأقطاب (الكاثود) ، وتترسب على الآخر (الأنود) كمية من نترات فضة رتبتها ١،١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١،١١٨ مليجرام فضة ممرورة فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

والجدير بالذكر أن هذه الوحدة المحددة للتيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدقة عالية من رتبة ، أى دلت رتبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت عدم يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وسمي الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد لمطلق المستخدم فى قياس الجهود على أسس التأثيرات الميكانيكية . يستخدم ميزان الأمبير لقياس شدة التيار الكهربائى . وفيما يلي شرح لميزان الأمبير طبقاً لراى (Raleigh) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا فتركز درء رقيقة على إطار مبرون ويحمل أحد طرفي اوراق كفة ميزان . ويحمل الطرف الآخر منفأ مقطوعاً قطره حوالي ٢٠٠ مم ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مقلطحين عبر متحركين ، وقطر كل منهم ضعف قطر الملف المتحرك . وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رقيقة من الفضة عند مرور التيار الكهربائي في هذه الملفات ، يحدث فيها تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزان . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنح في كفة الميزان . وتحري حسابات معددة لتعيرس القوة التي تدفعها هذه السح للاحتفاظ بالنصف في حالة آرن ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد

شكل ٣٠ :

ميزان الأمبير طبقاً لـ الى :

١ - إطار الميزان .

٢ - تدريج يتحرك على مؤشر .

٣ - كفة ميزان .

٤ - ملفان مشبك .

٥ - ملف متحرك .

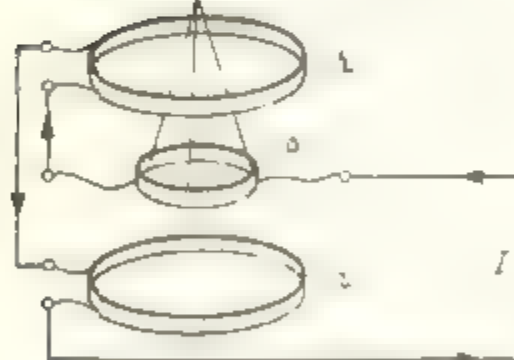


شكل ٣١ :

إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائي :

١ - موصلان متوازيان بطول لا نهائي .

٢ - الفراغ الذي يحدث به تيار شدته أمبير واحد



مار بموصلين، قوة قدرها 10×2 - $\frac{m}{2}$ كجم

وبناء على عمليات الورد هذه ، وعلى عمليات رياضية سقطة ، في حدود ، تعرف شدة التيار .

— ١١١ —

بقوة يحدثها موصلان متوازيان لا نهائياً الطول

ت = ١ أمبير

٢/٤ - كمية الكهرباء :

(١) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائي بمساعة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ،

بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستمر في الموصل في ثانية واحدة .

وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدها .
إذا اعتبرت كمية الكهرباء (ك) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائي (ت) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء (ك) على الزمن (ز) الذي يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\text{شدة التيار الكهربائي} = \frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{الزمن (زمن مرور التيار)}}$$

$$\text{أي أن } T = \frac{K}{Z}$$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوي حاصل ضرب شدة التيار في الزمن :

$$\text{كمية الكهرباء} = \text{شدة التيار} \times \text{الزمن}$$

$$K = T \times Z$$

(ب) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هي الأمبير - ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير-ثانية	مب-ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية ، كولوم ، نسبة إلى عالم الطبيعة الفرنسي كولوم (Coulomb) ، واختصرها (كب) وينتج من هذا أن

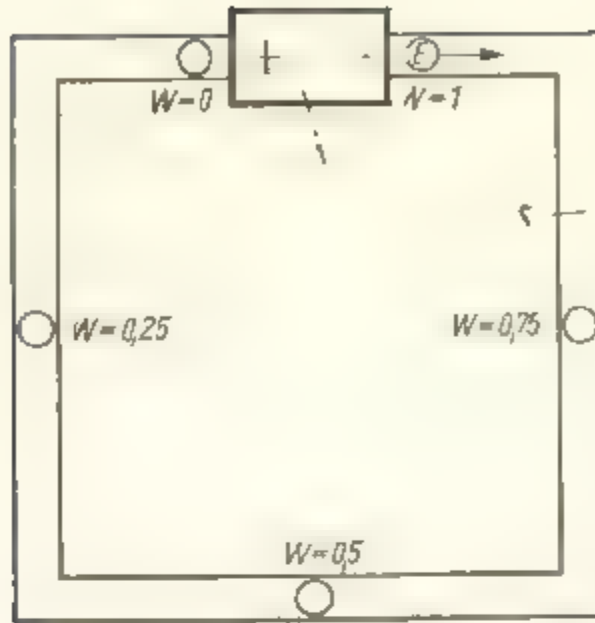
$$1 \text{ أمبير-ثانية} = 1 \text{ كولوم} \quad (1 \text{ مب-ث} = 1 \text{ كب})$$

وننتج كمية كهرباء قدرها 1 مب.ث (1 كب) عند إمرار تيار كهربائي شدته 1 أمبير (1 مب) لفترة مقدارها ثانية واحدة (1 ث) .

٣/٤ - الجهد :

(١) تعريف الجهد :

يصحب أي اتصال في الشحنة الكهربائية استهلاك في الطاقة ، أو شغل ، (حيث أن الطاقة والشغل هما كيتان فيزيائيتان من نفس النوع) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن ذلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وجزء من الطاقة الكيميائية في بطارية مشعل الجيب ، يطي للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل (ش) . ويمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقمعة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توارناً في الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائي » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٢٢
كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائي
١ - مصدر جهد (فولطية)
٢ - مسار التيار الكهربائي

ويوضح الشكل (٢٢) المقصود بالمصطلح « جهد ». ينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع ش $= 1$ ، في حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد (١) خلال مسار التيار (٢) . وبهذا يستنفد الإلكترون شحلاً ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية) . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده (قدرته الدافعة) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف ويصبح جهده صفراً عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد . استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا في بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائي من الناحية التنشيطية . وقد أصبح بسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التي سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائي » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائي أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل في هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً في دائرة التيار المقفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا « هبوط الجهد » أو « الفقد في الجهد » أو « هبوط الفلطية » في الدائرة . (ب) وحدة الجهد :

« الفلط » هو وحدة الجهد .

الكية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الجهد	ج	فلط	فل

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالي فولتا (Volta) .
وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالي .

النصواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠٠٠ فلف
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠ فلف
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠ فلف
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠ فلف
خطوط الإنارة	٢٢٠ فلف
بطاريات السيارات	١٢ فلف
دخول معدات اللاسلكي	٠,٠٠٠٠٠٠٠ فلف

(ج) إمكانات إيجاد قيمة وحدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ح قدره فلف واحد (١ فلف) وذلك بمساعدة مصدر للجهد حلقات (حلبة جلفانية) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد وهذا المصدر للجهد هو « حلبة وستون الإمامية » ويمكن الحصول على جهد قدره فلف واحد من حلبة وستون الإمامية وهذا جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلف عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠°م .

وهذا تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالمفصل الثامن .

(د) التعاريف المتعددة للجهد :

وصفت تعريف متعددة في مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتها .

جهد مسلف :

هو الجهد المعدل في الدائرة الداخلية ، أى في حلبة حللانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد « القوة المدافعة الكهربائية الاسمية » . والدلالة على جهد المسلف بصفة خاصة يرمز له بالرمز (ج) .

جهد طرفي :

هو الجهد الذي يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .

جهد التشغيل أو الجهد المقنن : هو الجهد الذي تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل (١١٠ فلف ، أو ٢٢٠ فلف أو ٣٨٠ فلف) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقنن هو الجهد الذي تصمم أو تقنن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه (مثلاً مصباح ١٢ فلف للسيارة) .

جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى الجهد يصل إلى ٤٢ فلت . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسي : يبين هذا التعبير مدى الجهد يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر في الآتي :

نظام جهد عال جداً	(حتى حوالي ٣٨٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد عال	(حتى حوالي ١١٥٠٠٠ فلت)
نظام جهد متوسط	(حتى حوالي ٣٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد منخفض	(١١٠ فلت ، ٢٢٠ فلت ، ٣٨٠ فلت)

٤/٤ - المقاومة :

(أ) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » في الهندسة الكهربائية للدلالة على كمية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائي يعوق سريان التيار الكهربائي . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم لإيضاح الكمية الكهربائية التي يطلق عليها مقاومة بطريق غير مباشر في شرح الجهد الكهربائي : عندما يمر التيار الكهربائي خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة (الجهد) ، التي يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلي : يحدث مسار التيار (سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلاً موصلاً كهربائياً) مقاومة في طريق الإلكترونات ، ويلزم للإلكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكمية « مقاومة » في شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

(ب) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هي « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الإختصار
مقاومة	م	أوم	Ω

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعة الألماني أوم (Ohm)

(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

لحصول على وحدة المقاومة تستخدم طريقة مماثلة لتلك المستخدمة للحصول على جهد قدره فلت واحد من مصدر جهد جلفاني ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (Ω) ، إذا سري تيار كهربائي خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢ وطوله ١٠٦٣ متر . وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .

الفصل الخامس

العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم)

سنعرض في أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب (الفصل الثالث) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفولتميتر بقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى لفرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكميات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبصح ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ - لا يضىء مشعل جيب كهربائى مقنه ٤ فلط إذا وصل بمصدر جاف جهده ١,٢ فلط .
٢ - يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوئه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

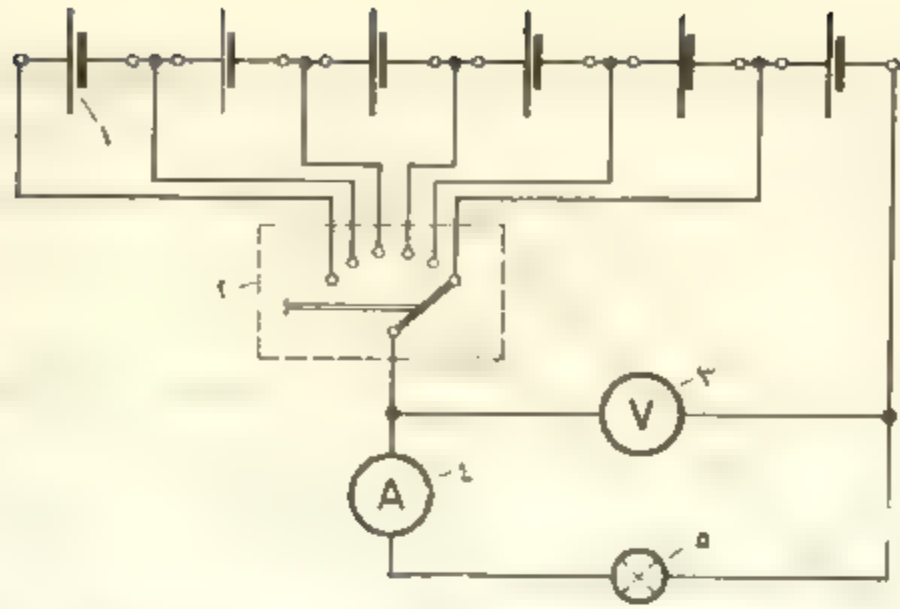
٣ - يحترق فى الحال مصباح كهربائى مقنه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة الترتيبية التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبية من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح ٠-١) . ويوصل فى هذه الترتيبية فولتميتر ليعين الجهد . وتشتمل هذه الترتيبية أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقنه ١٢ فلط . وتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى .

رقم القراءة	الجهد (ج) بالفولط	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



شكل ٣٣ : تقريبية رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة - شدة التيار / الجهد :

- ١ - بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فولط .
- ٢ - مفتاح خلايا كهربائي (مفتاح منظم كهربائي) .
- ٣ - فلظمتر .
- ٤ - أمبير .
- ٥ - مصباح ١٢ فولط .

الخاصية الأولى التي يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هي : تزداد شدة التيار بزيادة

الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار وهي :

٦	٥	٤	٣	٢	١	مسلسل
٨	٨	٨	٨	٧,٨	٨	خارج القسمة $\frac{E}{I}$

وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة $\frac{E}{I}$ متساوية في جميع الحالات . ($\frac{E}{I}$ ثابت) .

ومن ثم نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أي أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج α ت . وتوضح هذه العلاقة رسم منحنى بياني بين شدة التيار والجهد (الشكل ٣٤) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل (دالة خطية) .

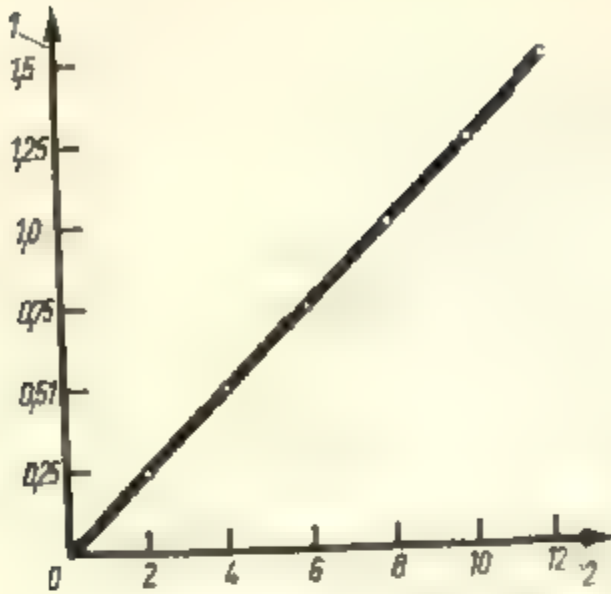
٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة :

وبين الشكل (٣٥) مثلاً لرسم الدائرة لتقريبية تستخدم تحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.

شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :

١ - التيار (بالأمبير) .

٢ - الجهد (بالفولط)



شكل ٣٥ :

ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .

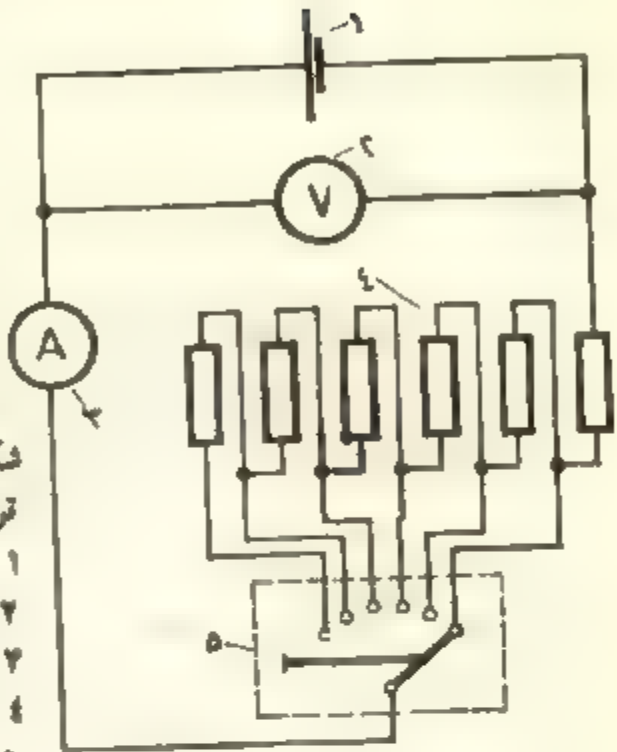
١ - مصدر الجهد ٢٤ فولط .

٢ - فلوطنتر .

٣ - أميتر .

٤ - ترتيبية بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .

٥ - مفتاح انتقاء كهربائى .



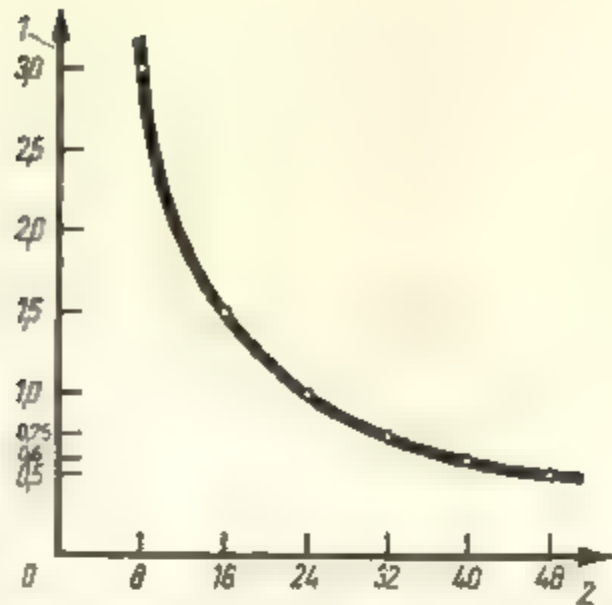
وتتكون هذه الترتيبة من مصدر الجهد يعطى ٢٤ فولط ، وفلوطنتر (ويستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فولط ، طول فترة التجربة) ، وأميتر ، وترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منها ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائى ، للحصول مقاومات فى الدائرة : ٨ ، ١٦ ، ٢٤ ، ٣٢ ، ٤٠ ، ٤٨ أو ٤٨ حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلى :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى :

تنخفض شدة التيار بازدياد المقاومة .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البياني لشدة التيار والمقاومة (الشكل ٣٦) كما يلى :



شكل ٣٦ : منحى شدة التيار والمقاومة :

١ - التيار بالأمبير .

٢ - المقاومة بالأوم .

تناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً (ج = ثابت)

$$I \propto \frac{1}{R}$$

٣/٥ - تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

$$I \propto V$$

(تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً)

$$I \propto \frac{1}{R}$$

(تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً)

$$I \propto V$$

$$I \propto \frac{1}{R}$$

$$I \propto \frac{V}{R}$$

وبما سبق نحصل على الآتي :

شدة التيار والمقاومة

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{24 \text{ فولت}}{8 \Omega}$$

شدة التيار والجهد

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{2 \text{ فولت}}{8 \text{ اهم/أمبير}}$$

$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 16}$	١,٥ أمبير	$\frac{4 \text{ فلت}}{7,8 \text{ فلت} / \text{أمبير}}$	٠,٥ أمبير
$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 24}$	١ أمبير	$\frac{6 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت} / \text{أمبير}}$	٠,٧٥ أمبير
$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 32}$	٠,٧٥ أمبير	$\frac{8 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت} / \text{أمبير}}$	١,٠٠ أمبير
$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 40}$	٠,٦ أمبير	$\frac{10 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت} / \text{أمبير}}$	١,٢٥ أمبير
$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 48}$	٠,٥ أمبير	$\frac{12 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت} / \text{أمبير}}$	١,٥٠ أمبير

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتي :

١ - يعنى التعبير $\frac{\text{فلت}}{\text{أمبير}}$ التعبير Ω تماماً

٢ - تعطى قيمة شدة التيار في جميع الحالات باستخدام خوارزمية القسمة كما يلي :

$$\text{من } \frac{2}{8} = 0,25 \quad \text{وفلت} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلت}} = \text{نمير}$$

نتج ٠,٢٥ أمبير

$$\text{ومن } \frac{24}{8} = 3 \quad \text{فلت} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلت}} = \text{أمبير}$$

ينتج ٣ أمبير

وحيث أن خارج قسمة $\frac{ج}{م}$ في جميع الحالات يسوى قيمة ت (شدة التيار) ،

نحصل على الآتي :

$$ت = \frac{ج}{م}$$

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{الجهود}}{\text{المقاومة}}$$

وقد قام جورج سيمون أوم (١٧٨٩ - ١٨٥٤) بتحقيق هذه الصيغة الأساسية . وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفي حالة معرفة أي كيتين يمكن تحديد الكية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب في وضع الكية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، نجرى هذه العمليات الرياضية :

$$(١) \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ج \text{ هو المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفي الصيغة}$$

$$\frac{ج}{م} = ت \quad \text{كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م \quad \text{بضرب كل من الطرفين في م}$$

$$ج = ت \times م \quad \text{بحذف م من الطرف الأيمن وعليه .}$$

$$ج = ت \times م \quad \text{الجهد = شدة التيار } \times \text{ المقاومة}$$

$$(٢) \quad ج = ت \times م \quad \text{ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .}$$

$$\text{يفتح أن } ت \times م = ج \quad \text{بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ت \times م}{ت} = \frac{ج}{ت} \quad \text{بقسمة كل من الطرفين على ت}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{بحذف ت من الطرف الأيمن .}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{المقاومة} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}}$$

ويمكن أيضا وضع م في الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة في (١)

$$ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad \frac{ج}{م} = \frac{ت}{ج} \quad , \quad \frac{ج}{م} = \frac{ت}{ج}$$

$$\frac{ت}{ج} = \frac{١}{م} \quad \text{وينتج أن } م = \frac{ج}{ت}$$

ويقتصر استعمال قانون أوم في الهندسة الكهربائية . والدقة في التعبير ، يطبق هذا القانون

على الموصلات المعدنية في نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش

القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .

ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

$$\text{شدة التيار } I = \frac{\text{الجهد } E}{\text{المقاومة } R}$$

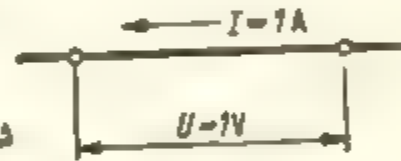
$$\text{الجهد } E = \text{شدة التيار } I \times \text{المقاومة } R$$

$$\text{المقاومة } R = \frac{\text{الجهد } E}{\text{شدة التيار } I}$$

(١) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار $\frac{E}{I}$ = مقدار ثابت ، وذلك من

الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن $\frac{E}{I} = R$ ، ويستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلت واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد (١ Ω) ، ويساعد الشكل (٣٧) في تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدني درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائي ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلت واحد بين هاتين النقطتين .

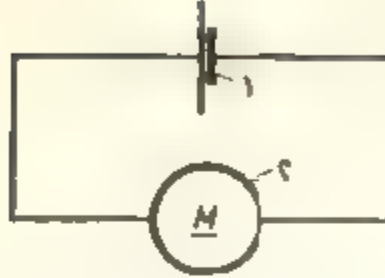
٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، وجهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التي تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصادر ومفاتيح كهربائية توضع في مسار التيار الكهربائي ، وفيما يلي نظرة أمثلة لحسابات سينية على قانون أوم فيما يخص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثال :

محرك كهربائي دمية (الشكل ٣٨) قيمة مقاومته $R = 26,7 \Omega$ ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٠,٤٥ أمبير . فما الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات : $\Omega \ 26,7 = M$
 ت = $0,45$ أمبير
 المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :
 ١ - مصدر جهد .
 ٢ - محرك كهربائي دمية .

الحل :

$$J = T \times M$$

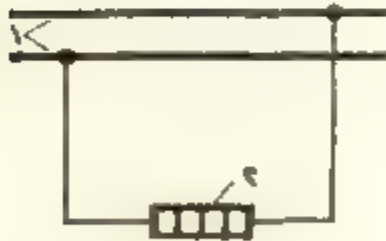
$$J = 26,7 \times 0,45 = 12,015 \text{ واط }$$

قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ واط .

مثال :

مسخن غاطس (الشكل ٣٩) مقاومته 70Ω ، وحدة التيار المسموح بها $2,75$ أمبير .
 فما الجهد الذي يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات : $\Omega \ 70 = M$
 ت = $2,75$ أمبير
 المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :
 ١ - مصدر جهد (مأخذ رئيس) .
 ٢ - مسخن (مسخن غاطس في هذه الحالة) .

الحل :

$$J = T \times M$$

$$J = 70 \times 2,75 = 192,5 \text{ واط }$$

يمكن تشغيل المسخن الفاس من مأخذ رئيسي جهده ٢٢٠ فلف .

مثال :

المجد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلف (الشكل ٤٠) . و نياس شدة اتيار وجدت ٠,٠٣ أمبير .
فا مقاومة هذا المتابع ؟

المعطيات : ج = ٢٤ فلف

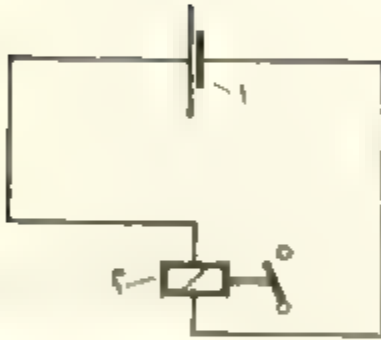
= ٠,٠٣ أمبير

المطلوب إيجاد : المقاومة م

الحل :

$$M = \frac{U}{I} = \frac{24}{0,03} = 800 \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠ Ω



شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مصدر للجهد .

٢ - متابع .

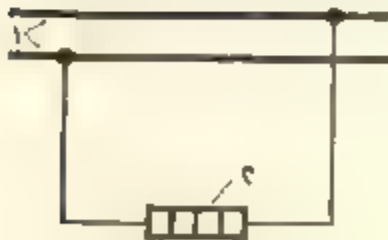
مثال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسي جهده ١١٠ فلف (الشكل ٤١) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فا قيمة مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلف

ت = ١٨,٥ أمبير

المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مسخن (فرن تجفيف في هذه الحالة) .

الحل

$$P = \frac{E}{t} = \frac{110}{18,5} = \bar{P} \quad ; \quad P = 5,94 \, \Omega$$

تكون قيمة مقاومة المسخن $P = 5,94 \, \Omega$

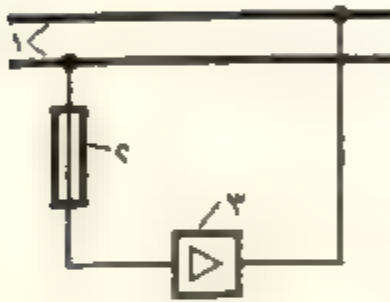
مثال :

هل يمكن مصهر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام في مكبر ، موصل على مصدر الجهد ج ٢٢٠ فلف . ومقاومة $280 \, \Omega$ (الشكل ٤٢) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلف

م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر الجهد) .

٢ - مصهر .

٣ - مكبر .

الحل :

$$I = \frac{E}{P} = I \quad ; \quad \frac{220}{280} = I \quad ; \quad I = 0,8 \, \text{أ} .$$

شدة التيار بالتقريب هي ٠,٨ أمبير .

لذا يمكن له مصهر مقننه أمبير واحد .

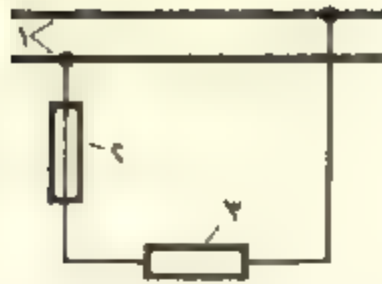
مثال :

تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلف ، ومقاومتها $2,31 \, \Omega$.
ما شدة التيار التي يحملها المصهر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلف

م = ٢,٣١ Ω

المطلوب : شدة التيار



شكل ٤٣ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصدر .

٣ - مقاوم .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٢٠}{٢,٣١} ، ت = ٩,٥٢ \text{ أمبير}$$

يتحمل المصدر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .

الفصل السادس

مواد الموصلات - ومواد المقاومات - والمواد العازلة

يطلق على المواد التي توصل التيار الكهربائي ، بصفة عامة ، موصلات - على حين يطلق على المواد التي لا توصل لتيار الكهربائي ، عند درجة حرارة محيطتها 20°C ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقا للموصلية الكهربائية على الوجه التالي :

موصل - شبه موصل - غير موصل ، أو مواد موصلات - مواد مقاومات - مواد عازلة .

ويبين كل من هذين التصنيفين قصورا في المعنى المقصود به ، وبالأخذ في الاعتبار لما يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشتمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتي تدعو للاهتمام في البزياء الكهربائية ، وهي مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخرى وهي المقاومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها في الهندسة الكهربائية . وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلي مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقاومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائيا في الاعتبار .

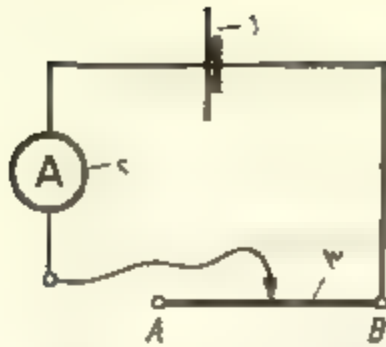
١-٦ - العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة القطع المستعرض (ج) للموصل :

(أ) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة قرينة الاختبار الموضح رسم دائرتها بالشكل (٤٤) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائي .

ويوصل السلك المقاوم بين نقطتي أ ، ب (الشكل ٤٤) وتشغل الترتيبة .

شكل ٤٤ : رسم الدائرة لترتيبة اعتبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) وطوله (ل) .



- ١ - مصدر الجهد (حوالى ٢ فولط) .
- ٢ - أميتر (يقيس حوالى ٣ أمبير) .
- ٣ - سلك مقاوم طوله متر واحد .

وبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا (س) ، وعمل هذا تكون :

القيمة الميمنة	طول سلك المقاومة
س	١ متر

ثم يجرى التوصيل بين الأميتر ونقطة في منتصف سلك المقاومة أ ب - نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .
وعمل هذا تكون :

القيمة الميمنة	طول سلك المقاومة
٢ س	$\frac{1}{2}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يلى :

القيمة الميمنة	طول سلك المقاومة
٤ س	$\frac{1}{4}$ متر

وبنضح عملنا أن هناك علاقة بين القيمة الميمنة وطول سلك المقاومة . وعمل هذا يمكن التوصيل إلى النتيجة التالية :

- ١ - تزداد المقاومة كهربائية (م) بزيادة طول الموصل (ل) .
- ٢ - تناسب قيمة المقاومة الكهربائية (م) تناسبا طرديا مع طول الموصل .

$$م \propto ل$$

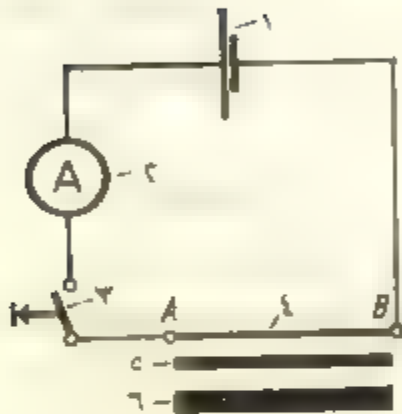
(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة ترتيبية الاختبار الموضحة بالشكل (٤٥) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المادة ومساحة مقطعها المستعرض ١ م^٢ ، ٢ م^٢ ، ٤ م^٢ ، ولها نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة الميّن عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة . نحصل على النتيجة التالية :

القيمة الميينة	مساحة المقطع المستعرض للموصل
س	١ م ^٢
٢ س	٢ م ^٢
٤ س	٤ م ^٢

شكل ٤ هـ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) ومساحة مقطعه المستعرض (ج) .



١ - مصدر الجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائى .

٤ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢ .

٥ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ م^٢ .

٦ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ م^٢ .

نستنتج ما يلى :

١ - تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض (وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى) .

٢ - تتناسب المقاومة الكهربائية (م) لموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض (ج) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعاً لقانون أوم يمكن استنتاج ما يلى :

$$\begin{array}{lcl} \text{م} \propto \text{ل} & \text{م} \propto \frac{1}{\text{ج}} & \\ \text{أى أن} & \text{م} \propto \frac{\text{ل}}{\text{ج}} & \end{array}$$

وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسباً طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض :

٢/٦ - المقاومة والموصلية :

(١) المقاومة :

تبنى العلاقات السابقة على الأبعاد الهندسية (الطول ومساحة المقطع المستعرض) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض صمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية (م) لموصل ، وبين مادته التي يصنع منها .

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترقية الاختبار المبينة بالشكل (٤٦) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .

شكل ٤٦ : رسم الدائرة لترقية اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة

موصل ومادة صنعه .

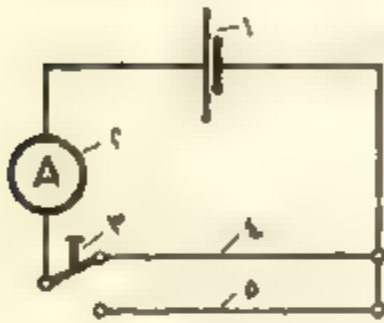
١ - مصدر الجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائي .

٤ - موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢

٥ - موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢



نستنتج من هذا الاختبار ما يلي :

١ - تكون شدة التيار في حالة إدخال موصل نحاس في الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار التي تمر في موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع في نفس الدائرة .

٢ - تختلف شدة التيار التي تمر في الموصلات باختلاف مواد صنعها ، إذا أدخلت هذه الموصلات في نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لكل مادة مقومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التي تربط بين المقاومة النوعية لمادة وأبعادها $l = ١$ متر ، $j = ١$ م^٢ ، « بمقاومية المادة » وإذا رمزنا للمقاومية بالرمز ρ (رو) ، نجد أن المقاومة (م) تتناسب تناسبا طرديا مع المقاومة .

$$M \propto \rho$$

قانون المقاومة :

$$M \propto \frac{l}{j}$$

$$M \propto \rho$$

لنحصل على قانون المقاومة :

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م$$

ويسمى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأي موصل ، تعتمد على مقاومة مادة صممه وطوله ومساحة مقطعه المستعرض ،

ولتحديد قيمة المقاومة لأي موصل ، نحمل المعادلة = م $\frac{L \times \rho}{ج}$ لإيجاد ρ

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م \quad \text{بتعديل طرفي للمعادلة}$$

$$م = \frac{L \times \rho}{ج}$$

$$\frac{ج}{ل} \times م = \frac{ج}{ل} \times \frac{L \times \rho}{ج}$$

بالاختصار في الطرف الأيمن ينتج :

$$\frac{ج}{ل} \times م = \rho \quad \text{ل (بالمتر) ، ج (بالمليمتر المربع) .}$$

وعندما تكون م بالأوم (Ω) ، ل (ستر) ، ج (بالمليمتر المربع) نحصل على

$$\frac{م \Omega}{ج} \quad \text{وحدة } \rho \quad \text{بهذا الشكل}$$

(ب) الموصلية :

في حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائماً للعمليات الرياضية التي تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عادة استخدام مقلوب قيمة المقاومة $\frac{1}{\rho}$ ، ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز

لها بالرمز γ (كابا) .

$$\frac{1}{\rho} = \gamma \quad \text{وعمل ذلك تكون الموصلية}$$

وتبعاً لذلك نحسب المقاومة لأي موصل على أساس :

$$\frac{L \times \rho}{A} = R \quad \text{أو} \quad \frac{L}{A} \times \frac{1}{\rho} = R$$

مثال :

مطلوب عمل ملف مقاومته $\Omega \ 200$. وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض $A = 0.02 \text{ م}^2$ وموصلية $\rho = 0.6$ ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتر .

المعطيات :

$$R = 200 \ \Omega$$

$$A = 0.02 \text{ م}^2$$

$$\rho = 0.6 \frac{\Omega \cdot \text{م}}{\text{م}^2}$$

المطلوب : الطول L بالأمتر

الحل :

من المعادلة :

$$\frac{L}{A} = R$$

$$L = \frac{A \times R}{1} \quad \text{بتبديل طرفي المعادلة}$$

$$L \times A \times R = \frac{L \times A \times R}{1}$$

بضرب كل من الطرفين في A جـ

وبالاختصار في الطرف الأيمن ينتج أن :

$$L = \frac{A \times R}{1}$$

بالتعويض في المعادلة الأخيرة

$$L = \frac{0.02 \times 0.6 \times 200}{1}$$

$$L = 2.4 \text{ متر}$$

طول السلك المطلوب هو 2.4 متر .

٣/٦ - مواد الموصلات :

(أ) مواد الموصلات ولحم مقاومتها :

اتفق لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار المادة التي يصنع منها الموصل . وهي ثباته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه ويوضح الجدول التالي مواد الموصلات الأكثر شيوعاً للاستخدام في الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية ρ	$\frac{r}{\Omega \text{ م}^2}$	الموصلية χ	$\frac{r}{\Omega \text{ م}^2}$
فضة	٠,٠١٦٥		٦١	
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨		٥٦	
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧		٣٥	
برونز	٠,٠١٨	٠,٠٥٦ إلى	٥٥ إلى ١٨	
سبيكة الدري	٠,٠٣٣		٣٠	
صلب	٠,١٠	٠,١٥ إلى	١٠ إلى ٦,٦	
رصاص	٠,٢١		٤,٨	

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطية قدرها ٢٠° م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على انسنة المثوية لنقاء مادة الموصل .

(ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

الفضة : ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات في تركيبات القوى الكهربائية والتغذية ، وذلك نظر لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة في مجموعة معدات التجميع الميكانيكية الكهربائية .

النحاس : ويعتبر المادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام في الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . وسد حوالي ٢٠ عاماً ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجياً في خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .

الألومنيوم : لقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب حمة ورنه بالنسبة للنحاس . مثلاً ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المسوى له فى المتأومة الكهربائية بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض للخط الألومنيوم تكون أكبر وبفضل استخدامه فى تكوين المكثت الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائية .

البرونز : وهو سبيكة من النحاس وإنتاج موصلات مصنوعة منه ، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ ٪ المائة من مكونات تشتمل على القصدير ، المغنسيوم والزنك والسليكون والبوتاس والفسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز فى الأماكن التى تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجسر الكهربائية (السكك الحديدية الكهربائية والترام والترولى ناس) وما شابههما ، والأجزاء الدوارة (المدلات ، حافلات الانزلاق) فى المكثات الكهربائية

سبيكة الدرعى : وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كيات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدى هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ فى اداثة بمقارنتها مع الألومنيوم النقى ، ومع ذلك فهذا يؤدى إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ فى المائة .

الصلب : ويندر استخدامه على حدة كأداة موصلة وتستخدم أسلاك لصلب أساساً لتزويد من متانة خطوط نقل القدرة لجهد العمل . ولهذا افترض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم وتستخدم الفصيان الصلب فى بعض حالات الجسر الكهربى كوصل رجوع لتكئة الدائرة .

الرصاى : وغالباً ما يستخدم كأداة موصلة فى المراكم التى تحتوى على أحماض (البطاريات) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص (وذلك نظراً لمقاومته للاحماض) ويستخدم الرصاص كوصل تأريض فى الكلات ذات أغلفة الرصاص .

٤/٦ - مواد المقاومة :

(١) قيمتها ووصف موجز لها :

تستخدم مواد مقاومة فى صناعة المقاومات . ويبين الجدول التالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

مادة المقاومة	المقاومية ρ	الموصلية
	$\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\text{م}}$	$\frac{\text{م}}{\Omega \text{ مم}^2}$
نيكولايت (ذرنجيد النيكل)	٠,٤٣	٢,٣
مانجنين	٠,٤٣	٢,٣
كونستانتان	٠,٥٠	٢,٠
نيكل كروم	١,٠	٠,٩١
مقاومات كربونية	٣٠	٠,٠٣٣

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقاومة الخزفية . وتشتمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التي تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقاومة المعدنية الأكثر شيوعا في الاستخدام عبارة عن سبائك وهي :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ في المائة نحاس أحمر و ٢٦ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ في المائة نحاس أسمر و ١٢ في المائة مانجنيز و ٢ في المائة نيكل .

الكونستانتان : ويتكون من ٥٨ في المائة نحاس أحمر و ٤١ في المائة نيكل و ١ في المائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة كروم و ٢ في المائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مفلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أدبيب أو قضبان ، وتستخدم في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .

(ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتتمشى هذه الأنواع من المعلومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

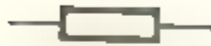
المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطي لمقاوم غير متغير .

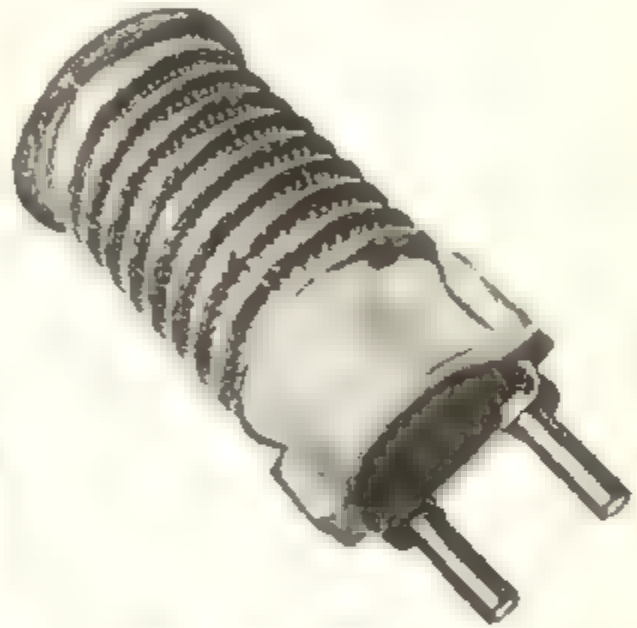
ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيل في مسخن بشكر قطع مكافئ* .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيل في مكواة كهربائية

ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيل لفرن تلمدين (فرن تحمير)



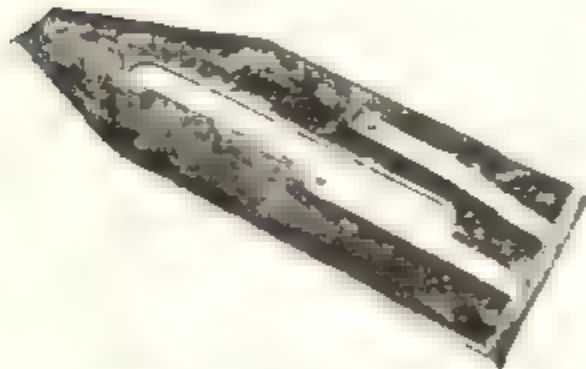
شكل ٤٧ : رمز تخطيطي لمقاوم غير متغير



شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة

كهربائية VEB Elektroworme

Sornewitz GDR



شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين

لمسخن بشكل قطع مكافئ* VEB

Elektroworme Sornewitz GDR

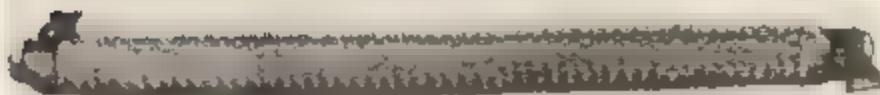
شكل ٥٠ : مقاوم فتيل

تسخين لفرن تلمدين .

VEB

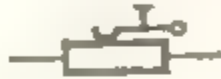
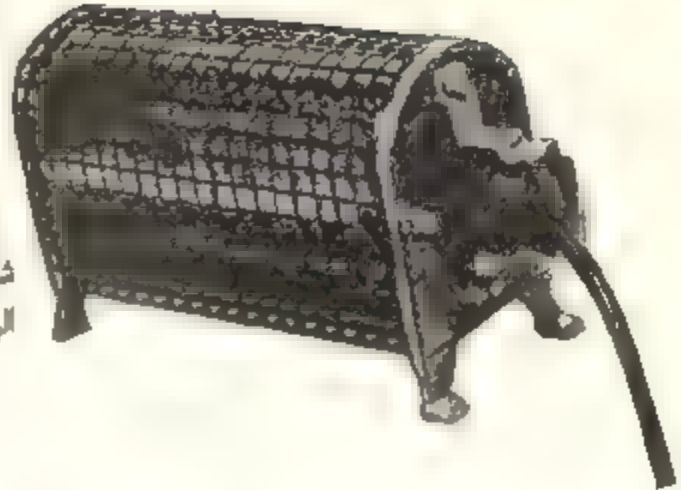
Elektroworme

Sornewitz GDR





شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربوني لخدمة الراديو والتليفزيون .



شكل ٥٢ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير على خطوات :

شكل ٥١ : مقاوم توائي من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .

ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم توائي من السلك الملفوف لأجهزة لمرضى لسينمائي
ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربوني لخدمة الراديو والتليفزيون

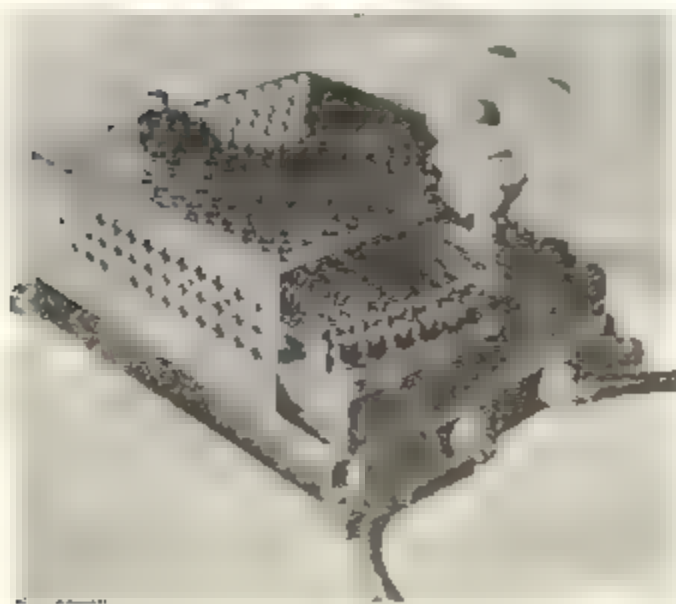
مقاومات متغيرة على خطوات :

يبين الشكل (٥٣) رمز تخطيطي لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران محرك كهربائي ، بينما التمثيل التخطيطي في الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزداد أو تنقص مقاومة المكثف م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل

مقاومات متغيرة لا نهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطي لمقاوم متغير لا نهائي يمتل مقاومة أومية .
والشكل (٥٧) لمقاوم منزلق ،
والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .

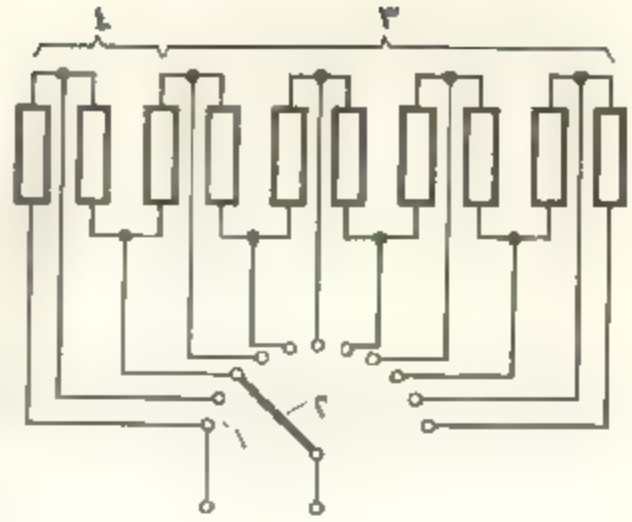
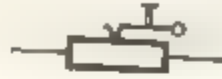
والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربوني . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ الجهد (بوتنشيومتر) .



شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائي :

شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :

- ١ - مبر اللامسات .
- ٢ - ملامس منزلق .
- ٣ - هنا الجزء من المقاوم ليس له أى تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المين .
- ٤ - الجزء الفعال للمقاوم .



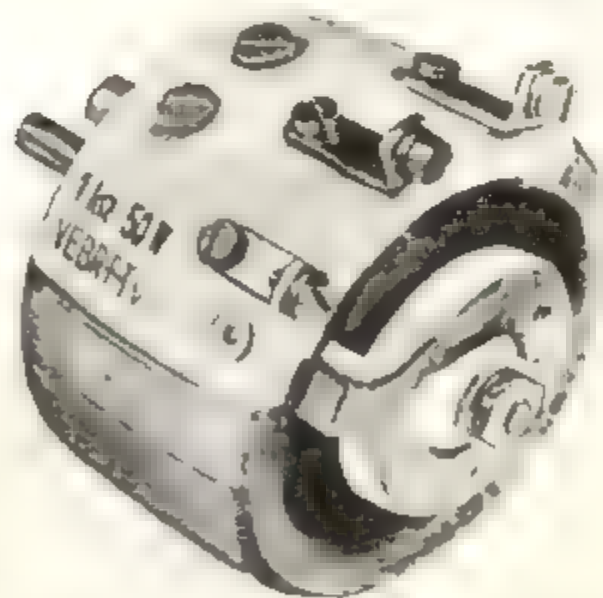
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانهاى يعطى مقاومة أومية :



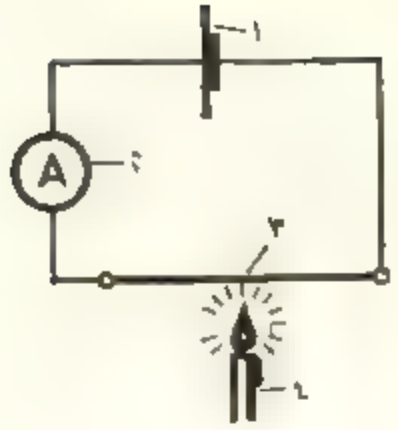
شكل ٥٧ :
مقاوم منزلق :



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع الكرىونى :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :
(VEB RET Berlin, GDR)



شكل ٦٠ : ترتيب اختبار لتحليل تأثير درجة الحرارة :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - سلك صلب .
- ٤ - مصدر لحرارة لمب غاز .

(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مسألتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات منية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة 20°C . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيب اختبار كما هو موضح بالشكل (٦٠) وإجراء القياسات التالية :

- ١ - عندما يكون السلك المقاوم دافئا .
 - ٢ - عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
 - ٣ - عندما يكون السلك المقاوم في حالة الاحمرار .
- نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

وبإجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التي نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغير درجة الحرارة . وعموما ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة (ويطبق هذا أيضا على السوائل الموصلة كهربائيا) .

المعامل الحرارى :

في حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيعية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . (تحيل ، مثلا ، أن مقاومات فتيل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالي شدة تيارها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين في درجة الحرارة . ويمبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحرارة على المقاومة) .

المعامل الحرارى هو ثابت يمبر عن التغير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية 20°C .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز α (الفا) ، ووحدته $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$. ولأخذ درجة الحرارة

المبدئية في الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التالية : α_{20}

وبيين الجدول التالي بضع معاملات الحرارة :

المادة	$\alpha, ^\circ\text{C}$ بالدرجة المتوية	المادة	$\alpha, ^\circ\text{C}$ بالدرجة المتوية
فضة	0,0038	قصدير	0,0042
نحاس	0,00393	بلاتين	0,0025
الومنيوم	0,00377	رصاص	0,0042
زنك	0,0037	سيكة ألدرى	0,0036
نيكل	من 0,0037 إلى 0,006	نحاس أصفر	0,0015
حديد	من 0,0045 إلى 0,006	نيكولايت	0,0023
		سجائين	0,00001
		كوبشتان	0,00003
		نيكل كروم	0,000100

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحرارى للكونستانتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى 110°C . فما هي المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة 63Ω (20°C) ؟

المعطيات :

$$R_{63} = 63 \Omega$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,0001 = \alpha, ^\circ\text{C}$$

$$T_{100} = 100^\circ\text{C}$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحرارة النهائية (T_{100})

الحل :

فيما يلي تعديق على المعادلة المستعمدة في حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتى مدى لدرجات الحرارة يصل إلى 100°C . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق في درجة الحرارة ، $\Theta - 20^\circ \text{C}$. ثم يضرب في المعامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة $\Theta \text{ م}$ عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$\Theta \text{ م} = 20.2 + (1 + 2.5) (\Theta - 20^\circ \text{C})$$

$$= 63 + (1 + 0.0001) \frac{1}{\text{م}} (20^\circ \text{C} - 100)$$

$$= 63 + (1 + 0.0001) \frac{1}{\text{م}} (20^\circ \text{C} \times 80)$$

$$= 63 + (1.008)$$

$$= 63.508 \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان في هذه الحالة ، إلى تغيرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة في حالة استخدام هذه المادة في المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكلولايت بالنحاس ،

$$\text{الذى معاملته الحرارى } 2.5 \text{ م} \text{ يساوى } 0.00392 \frac{1}{\text{م}}$$

$$\Theta \text{ م} = 83.8 \Omega . \text{ وهذا يعنى زيادة في المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة لقيمة}$$

المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستانتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم في صناعة فتيل التسخين الصمامات الالكترونية

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين في أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها (مستقبلات كل المآخذ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها حيث يكون التيار المسار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستانتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتها تكون منخفضة عند بدء التشغيل (فتيل تسخين) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع في مقاومة الفتيل ، وانخفاض في المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المسار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة في قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، في قياس الارتفاع في درجة حرارة الملفات التى يراد اختبارها، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارة ليفاتها، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكثف الكهربائية .

(أ) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، في مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويصنف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة . ويعطى التصنيف التالي حصرا لما يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق - نسيج وزيت .

لدائن .

وتتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المادة المصنوع منها هذه العوارل ، واستخداماتها المختلفة .

(ب) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقارمية لمواد الموصلات ومواد المقارمات عنه في مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقاومة لمواد العزل على مساحة مقطع مستمر من مقدرها ١ م^٢ وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثال :

الوحدة	القيمة
$\frac{\Omega \cdot \text{م}^2}{\text{م}}$	١
$\frac{\Omega \cdot \text{سم}^2}{\text{سم}}$	٠,٠١١
$\frac{\Omega \cdot \text{ديسم}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠١١
$\frac{\Omega \cdot \text{م}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠٠٠١١

ويمكن كتابة التعبير $\frac{\Omega \cdot \text{م}^2}{\text{م}}$ بالطريقة التالية

$$\frac{\Omega \cdot \text{م} \times \text{م}}{\text{م}}$$

وتصبح القيمة الأخيرة في المثال السابق بعد الاختصار $\Omega \cdot \text{م} \cdot ٠,٠٠٠٠٠٠١١$.

ويوضح الجدول التالي بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلها . والتعبيل سوف نكتب الأرقام مرهومة للأوس .

مثال :

يبين الجدول التالي مقاومة العزل للكوارتز وغدارها $\times 1910 \Omega$ م ويمكن كتابتها أيضا .

$\times 4 \dots \dots \dots 10 \Omega$ م أو $\dots \dots \dots 40 \Omega$ م

مادة العزل مقاومة العزل Ω م

1910×4	الكوارتز
$1610 - 1510$	الميككا
1810×2	الأسبتوس
1610	المطاط الطبيعي
1210	المطاط الصناعي
$1510 - 1410$	الصيني الصلب والمصقول
$1510 - 1410$	الاستيكت (حجر صناعي)
$1410 - 1110$	الزجاج
$1210 - 1110$	الورق المشرب بالبرافين
$1410 - 1010$	الورق المضغوط
1210	زيت المحولات
$1510 - 1010$	تجهيزات خزفية خاصة
$1510 - 1210$	الدائن

(ج) شرح موجز لمواد عازلة :

الكوارتز : يستخدم كمادة عازلة في أجهزة القياس ، وخاصة في محلات الترددات العالية ويستخدم الكوارتز أيضا في الأغراض التي يمرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحرارة وغير حساس للتغيرات في درجة الحرارة .

الميككا : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صلبة . وتصلح كمادة عازلة في المواسم وتستخدم ألواح الميككا المفردة بعضها ببعض بحلول الشيلك (الميككاتيت) في المبدلات ومقدمار التسخين ، اللازمة للمكثفات والمسخنات الكهربائية .

الاسبتوس : يستخدم أساسا في المسخنات الكهربائية . وهو مادة ليفية تدخل في تصنيع العازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقرارها عند كسح نهائي .

الفلونونية : وتنتج من الراتنج الطبيعي ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم في إنتاج الكلاوت .

الشيلاك : وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه في الهند ويستخدم بكثرة كمادة عازلة للفيئات
المكثات الكهربائية .

المطاط : يصنع من الكاوتشوك الطبيعي . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتي الحرارة
- ٣٠ م° ، + ٦٠ م° فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبنزين . ويعتبر المطاط من المواد
عازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

الصيني : وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون الصيني الصلب الذي يتكون من ٥٠ في المائة
كارولين و ٢٥ في المائة كوارتز و ٢٥ في المائة فلبسار ، أهمية عملية في الهندسة الكهربائية .
وتصنع منه عادة الموائل المستخدمة في الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية لمجهد العالي ، كما
يصنع منه الموائل للنفاذي المحولات .

الاستيكت : (ويعرف أيضا بالحجر الصابوني) ويشبه الصيني . ومثانته أعلى منه وخواصه
الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

الزجاج : يندر استخدامه في الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغيرات درجة
الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية في بعض الأحيان بدلا من الاستيكتوس ، نظرا لاستقرارها
الحار العالي . وتستخدم الموائل الزجاجية أحيانا في لبلاد التي تكون درجة حرارتها ثابتة
نسبيا .

الورق : يستخدم في الهندسة الكهربائية إما غير مشرب في إنتاج كبلات الجهد المنخفض ،
أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العالي .

الورق المضغوط : وهو ورق يمرض لضغط عالي أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات
الملفات في المحولات الصغيرة ، ولملء الفراغات في العنصر الدوار أو العنصر الساكن للمكثات
الكهربائية .

الورق المقوى : أو ورق مكون من رقائق ، ويصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج
وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى (كجم/سم^٢) عند درجة حرارة قدرها ١٢٠ م° . ويوجه
الورق المقوى بسلك يتراوح بين ١٠ م و ١٥٠ م .

لسيج مكون من رقائق : يصنع من طبقات من اللسيج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك
المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعي أو الكتان أو القطن أو خيوط
الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسلك فيما بين ١٠ م و ٣٠٠ م . وخواصه الميكانيكية
أحسن من خواص الورق المقوى .

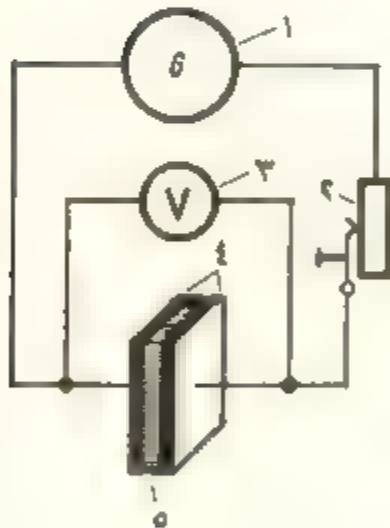
الأنسجة العازلة : وتكون غالبا من شرائط القطن أو الحرير الصناعي يمرض بين ٥ م
و ٣٠ م ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت في دباط الكبلات والملفات المحصورة .

الزيوت العازلة : وتستخدم في الهندسة الكهربائية كإزاد عازلة وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة في هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المروقة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعاً لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حرارية وأخرى مصلدة حرارياً thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حرارياً دوام صلابتها وجسوءتها بالتسخين ، وتستخدم في أحواح قواعد المكثفات ، وأغطية المعدات ، وصناديق للتوزيع والتحكم وغلافه .

(د) متانة الوسط الكهربائي العازل :

يعتمد استخدام المادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائي العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسمك المادة العازلة . والشكل (٦١) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائي العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائي العازل :

- ١ - مولد جهد عال .
- ٢ - مقاوم متغير .
- ٣ - فلطمتر .
- ٤ - لوح معدني .
- ٥ - هيئة اختبار .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ م بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بفلطمتر . وعند قيمة معينة للجهد ، يحدث توصيل كهربائي بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتتحرق المادة العازلة . فإذا وضع مثلاً ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الفينيل (PVC) ، سمكه ١ م بين هذين اللوحين فيلزم تسليط جهد قيمته حوالي ١٠٠ ٩٥ فلت (٩٥ كيلو فلت) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائي من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .

ويبين الجدول التالي قائمة بمتانة الوسط الكهربي في العازل لبعض مواد عازلة :

المتانة الوسط الكهربي في العازل كيلوفولط / مم	المواد العازلة
٣٥	كوارتز
٢٥-٢٥	ميكا
٢٢- ٦	ورق مضغوط
١٢- ٨	ربت محولات

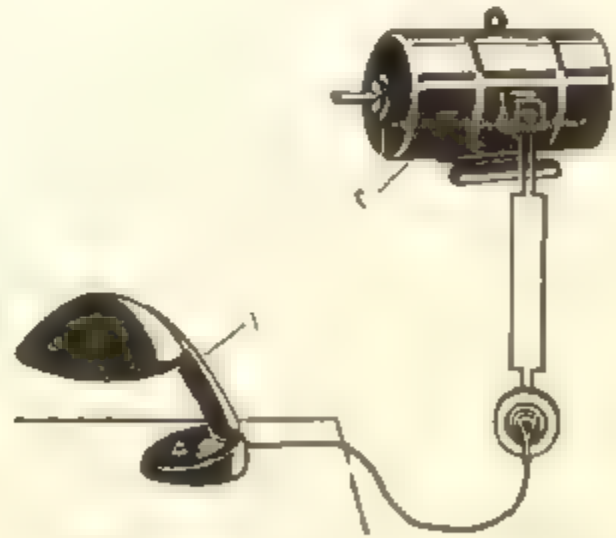
الفصل السابع

دوائر بسيطة وشبكات كهربائية

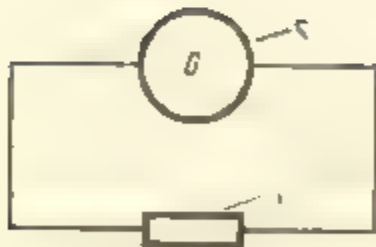
وبما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبضعة مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطي هنا نموذجاً لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلاً تتوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة لراديو والتليفزيون في حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائي ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث في نفس النطاق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات في دائرة معينة مقاومتها (م) .

١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

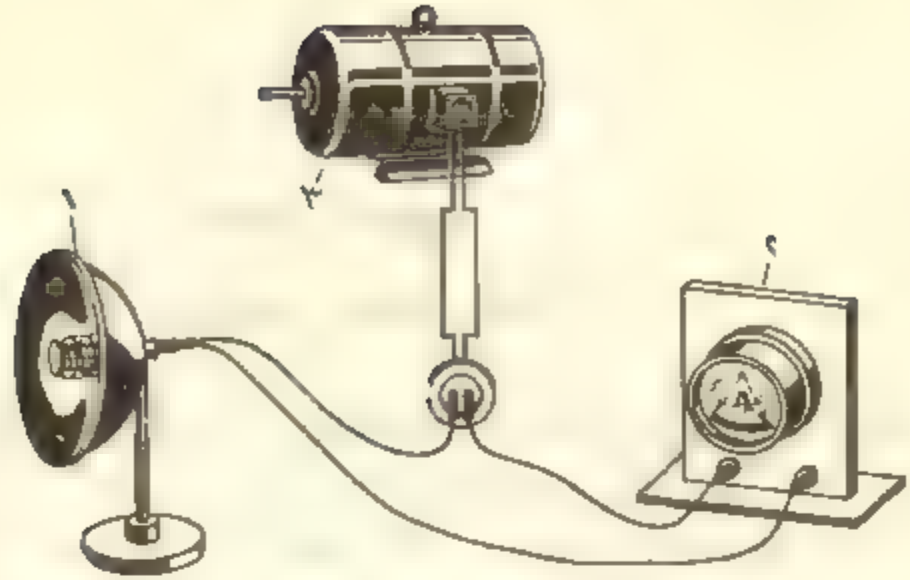
يبين التمثيل التخطيطي بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائي من مولد إلى مصباح كهربائي (أبجورة) ، ثم رجوعاً إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائي مقاوماً ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .



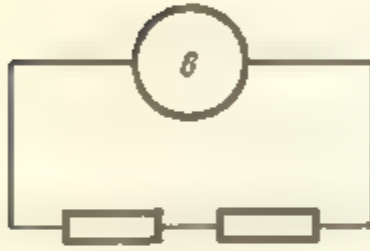
شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لتربطيهما مولد ومصباح :
١ - مصباح متصلة .
٢ - مولد .



شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .
١ - مصباح متصلة تمثل بمقاوم .
٢ - مولد .



شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتيبة دائرة بها مولد وأميتور ومسخن بشكل قطع مكافئ .
 ١ - مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ - أميتور . ٣ - مولد .



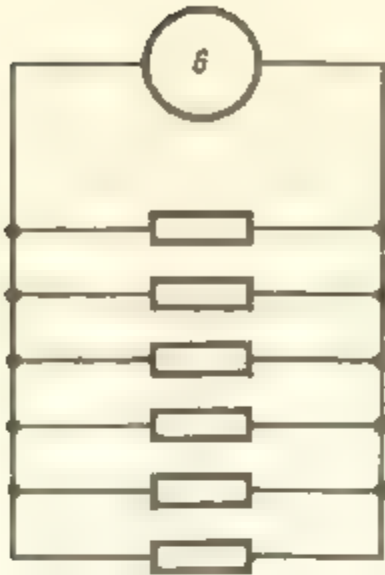
شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

يبين الشكل (٦٤) تمثيلا تخطيطيا لترتيبة دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتور ، يمر التيار الكهربائي من المولد خلال الأميتور ثم المسخن ويرجع ثانيا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتور مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٥) . ويبين الشكل (٦٦) ترتيبا أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح في وضع التشغيل . ويتمثل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح في الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (٧٨ - ١) توصيل على التوالي للمقاومات . وتعطى المقاومات في ترتيبية الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تعريض ، ويبين الشكل (٦٨ - ٢) مثالا لمقاومات موصلة على التوازي ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتتصل عند نقطة أخرى .

ويوضح الشكل (٦٩) خليطا لترتيبة توالي وترتيبة توازي ، ويطلق عليه أيضا دائرة مختلطة . إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالي في دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التي توصل بها المقاومات على التوازي ، أو على التوازي والتوالي معا « شبكة » . وفيما يلي شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة في الدوائر البسيطة والشبكية :

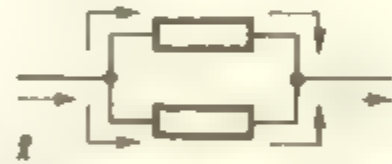
شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجمة :
 ١ - نجمة .
 ٢ - مفتاح كهربائي .
 ٣ - مولد .



شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل (٦٦) .



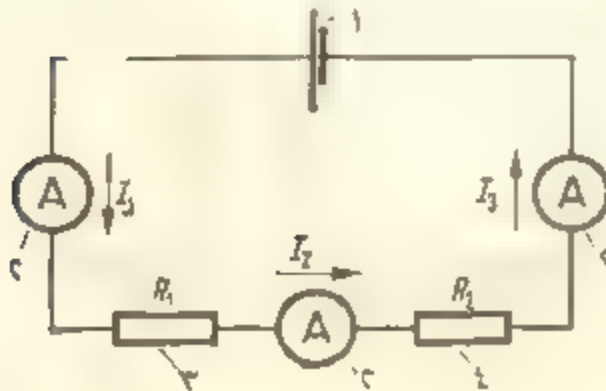
شكل ٦٩ : شبكة بها خليط لترتيبة
 توصيل قواى وتوازى معا :



شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى
 ومقاومات موصلة على التوازى :
 ١ - دائرة توالى . ٢ - دائرة توازى .

٧/٢ - الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رمما لدائرة بسيطة ، بها مقاومان مرصلان على التوالى ، $R_1 = 10 \Omega$ ، $R_2 = 20 \Omega$ ، ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات عند ثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات لتبين شدة التيار I_1 ، I_2 ، I_3 ، ثم عتد هذه المواضع الثلاث فى الدائرة.



شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :
 ١ - مصدر الجهد .
 ٢ - لاميتر .
 ٣ - مقاومة 10Ω .
 ٤ - مقاومة 20Ω .

بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التالية :

« تين جميع الأميترات نفس القيمة » (وبمعرض أن شدة التيار الميية بكل أميتر في هذه الحالة هي ٠,٣ أميتر) . فينتج أن $I_1 = I_2 = I_3 = I_4$ وستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالي ما يلي :

تكون قيمة شدة التيار هي نصف عدد أى نقطة في الدائرة البسيطة .

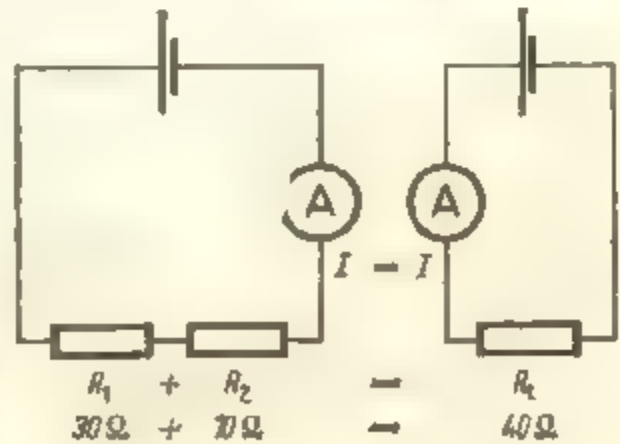
ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة (ح ، ت ، م) . ولايجوز العلاقات بين المقاومات R_1 ، R_2 ، الموصلان على التوالي من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بملطومتر عمر مصدر للجهد $E = 12$ فلت ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بيئت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠,٣ أميتر . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة (م) من الصيغة التالية :

$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{0,3} = 40 \Omega$$

وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتحت من حاصل جمعها ، حيث أنه ذكر أن $R_1 = 30 \Omega$ ، $R_2 = 10 \Omega$. وإذا أطلق على لقيمة 40Ω « المقاومة الكلية » أو « المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة $R = R_1 + R_2$

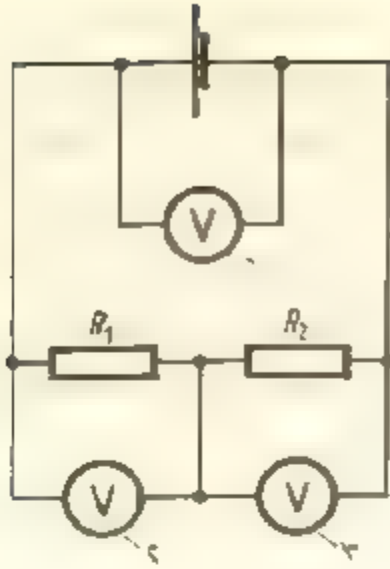
وستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالي ما يلي .
تساوى المقاومة الكلية (أو التى تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة) لأى عدد من المقاومات المتصلة على التوالي ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات .
وكذلك أيضا :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لمقاومات المتصلة على التوالي دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة في هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالي . ويلى ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد في الدائرة البسيطة . ويبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة ملطمترات متصلة معا



شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :

شكل ٧٢ : دائرة اختبار تستعمل لقياس فروق الجهد في دائرة بسيطة :



- ١ - فلطمتر (١) .
٢ - فلطمتر (٢) .
٣ - فلطمتر (٣) .

عند تغذية ترتيبية الدائرة ، تبين الفلطمترات الثلاثة القراءات المختلفة التالية :

الفلطمتر (١)	١٢ فلط
الفلطمتر (٢)	٩ فلط
الفلطمتر (٣)	٣ فلط

وإذا رمزنا للجهد عبر المصدر بالرمز ج ، وكل من الجهدين الجزئيين على المقاومين ١ و ٢ ،

٢٢ بالرمزين ج ١ ، ج ٢ ، يمكننا كتابة :

$$ج = ج ١ + ج ٢$$

نظراً لأن ١٢ فلط = ٩ فلط + ٣ فلط .

وبإجراء أي عدد من التجارب لأي عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، نحصل على النتيجة التالية :

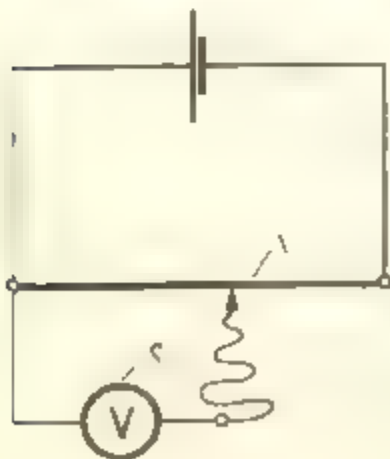
الجهد الإجمالي في أي دائرة بسيطة يساوي مجموع الجهود الجزئية في هذه الدائرة .

(١) هبوط الجهد وفقد الجهد :

في الشكل (٧٣-١) استبدل المقاومان ٣٠ Ω ، ١٠ Ω بقضيب من سلك مقاومته ٤٠ Ω ، ويوصل فلطمتر بالدائرة ، بطريقة يمكن بها عمل تلامس عند أي نقطة على سلك المقاومة بأحد طرفي وصلي الفلطمتر ، بينما يثبت الطرف الآخر عند نقطة اتصال بداية سلك المقاومة بالدائرة .

عند توصيل طرف وصلة الفلطمتر المتحركة بمنتصف سلك المقاومة ، يبين الفلطمتر قراءة قيمتها ج = ٦ فلط ، ويمكن تحديد هذه القيمة أيضاً كما يلي :

$$ج = \frac{٤٠ \times ٠,٣}{٢} = ٦ \text{ فلط} , \quad ج = \frac{٤٠ \times ٠,٣}{٢} = ٦ \text{ أمبير}$$



شكل ٧٣ : هذا الشكل يساعد في توضيح هبوط الجهد :

١ - سلك مقاومته ٤٠ Ω .

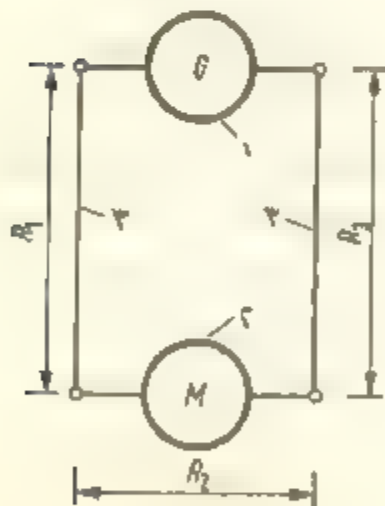
٢ - فلطمتر بوصلة متحركة .

وتتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر وتوضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هام في الهندسة الكهربائية . فتكون أى ترتيبية كهربائية من وصلات ومحولات طاقة (بإهمال مصدر الجهد) . يعملها تكون هذه الوصلات ومحولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالي ، يهبط عزم الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة . يتحول هبوط الجهد على الوصلتين (م ، م) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك ومولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد في وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » وبالتالى « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما في نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للمخطوط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أمبير ، موصل بأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المخط ، ولا يتعدى هبوط الجهد المسموح به ٢ في المائة من جهد التشغيل . ويستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض لخط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :



$$ج = ٢٢٠ \text{ فلط .}$$

فقد الجهد ٢ في المائة

$$ت = ١٢ \text{ أمبير}$$

$$ل = ٢ \times ١٢٥ \text{ متر}$$

$$\% \text{ نحاس} = ٥٦ \frac{\text{م}}{\Omega}$$

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض (ج) السلك .

الحل :

شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات في الدائرة :

١ - مصدر الجهد (مولد) .

٢ - محرك طاقة (محرك كهربائى) .

$$١ - \text{ فقد الجهد} = \frac{٢ \times ٢٢٠}{١٠٠} = ٤,٤ \text{ فلط}$$

$$\frac{\text{فقد الجهد}}{ت} = ٢$$

$$\Omega \quad 0,367 = \frac{4,4}{12} = 2$$

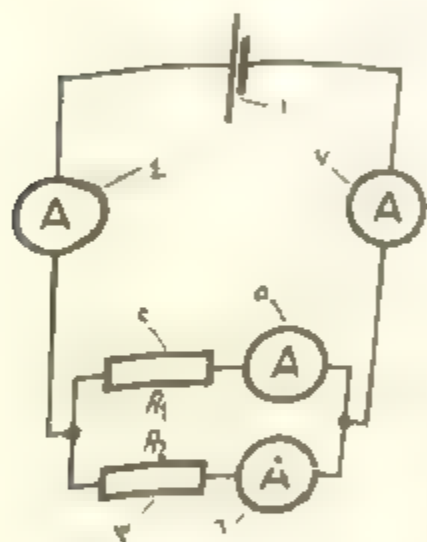
$$\frac{L}{\mu \times X} = \text{المساحة (ج)}$$

$$\frac{120 \times 2}{0,367 \times 56} =$$

$$\mu \quad 12 =$$

يكون لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ م^٢

٣/٧ - الشبكات :
يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكة مكونة من مقاومين $\Omega \quad 20 = 12$ ،
٢٢ = $\Omega \quad 10$ موصلين على التوازي . ويدخل في الدائرة أربع أميترات



- شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :
- ١ - مصدر الجهد .
 - ٢ - مقاوم 12μ
 - ٣ - مقاوم 22μ
 - ٤ - أميتر (١)
 - ٥ - أميتر (٢)
 - ٦ - أميتر (٣)
 - ٧ - أميتر (٤)

نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبية ما يلي : تيس الأميترات

قيما مختلفة طبقا لما سبق شرحه في الدائرة البسيطة فيبين
الاميتر (١) ، والاميتر (٤) ١,٦ أمبير ، بينما يبين
الاميتر (٢) ٠,٤ أمبير والاميتر (٣) ١,٢ أمبير

ويجمع قيمتي شدة التيار للفرعين ت ١ ، ت ٢ اللتان تمران خلال المقاومات 12μ ، 22μ نحصل
على شدة التيار الإجمالية ت المبنية بالاميتر (١) والاميتر (٤) قبل وبعد التفريع . ونوجد
قيمة شدة التيار ت ١ ، ت ٢ في كل من الفرعين في الدائرة عند جهد قدره $12 =$ فلت كما يلي

$$ت ١ = \frac{ج}{12} ، ت ١ = \frac{12}{\Omega \quad 20} ، ت ١ = ٠,٤ \text{ أمبير}$$

$$ت ٢ = \frac{ج}{22} ، ت ٢ = \frac{12}{\Omega \quad 10} ، ت ٢ = ١,٢ \text{ أمبير}$$

وبذلك يمكن كتابة :

$$ت = ت ١ + ت ٢$$

ج
ويأجروا عدة قياسات على العديد من مقاومات التوازي نحصل على نفس النتيجة التالية :

التيار الإجمالي في الشبكة التي يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع التيارات المارة في فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصلين على التوازي . فنحطد أولا المقاومة المكافئة R_K للمثال السابق طبقا للشكل (٧٥) . ويمكن تحديد R_K بسهولة جدا في حالة وجود أجهزة قياس :

$$R_K = \frac{U}{I} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$\frac{1}{R_K} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\text{وحيث أن } \frac{1}{R_K} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ ينتج أن :}$$

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على $\frac{1}{R_1}$ ينتج :

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1}$$

وهذا يعنى :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلي :

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{30} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{R_K} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{2}{30} = \frac{1}{15}$$

ومن مقلوب هذه الصيغة (برفع الصيغة للأس - ١) ينتج :

$$\frac{\Omega \ ٢٠}{٤} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ٧,٥ = \text{أك}$$

وهذه هي نفس النتيجة التي تم الحصول عليها من الحسابات المبنية على الجهد وشدة التيار .

مثال :



المطلوب إيجاد مقاومة المكافئة $R_{\text{أك}}$ طبقاً للشكل (٧٦)

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{40} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20} = \frac{1}{R_{\text{أك}}}$$

$$\frac{2}{200} + \frac{5}{200} + \frac{4}{200} + \frac{8}{200} = \frac{1}{R_{\text{أك}}}$$

$$\frac{19}{200} = \frac{1}{R_{\text{أك}}}$$

$$\frac{200}{19} = R_{\text{أك}}$$

$$\Omega \ ١٠,٥٣ = R_{\text{أك}}$$

شكل ٧٦ : أربع مقاومات
موصلة على التوازي :

$$. \Omega \ ٢٥ = ١\text{م}$$

$$. \Omega \ ٥٠ = ٢\text{م}$$

$$. \Omega \ ٤٠ = ٣\text{م}$$

$$. \Omega \ ١٠٠ = ٤\text{م}$$

وإذا أخذنا في الاعتبار حالات الجهد في الشبكيات دت المقاومات الموصلة على التوازي ،
نجد أن نفس الجهد يكون مسلطاً على كل فرع به مقاوم .

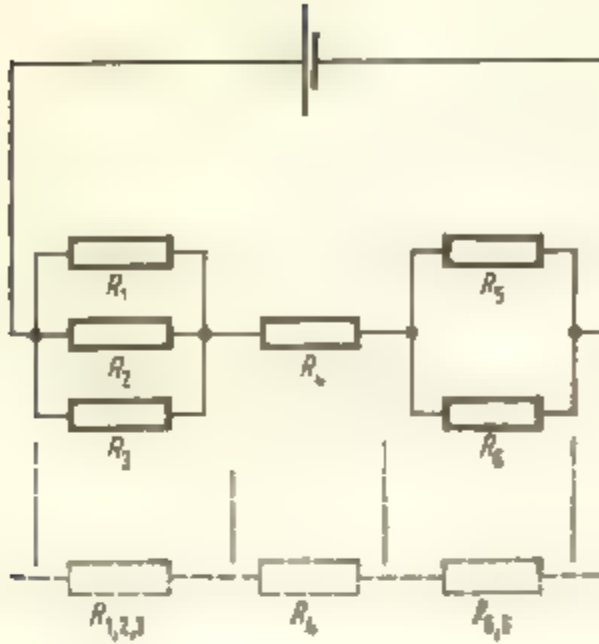
يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم في أي شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي .

يستخدم الشكل (٧٧) لإيضاح حالات المقاومة في شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي
والتوالي .

فيأذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة $R_{\text{أك}}$ لهذه الشبكة ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث
مقاومات متصلة على التوالي ، يشمل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتي توازي . ويوضح
هذا الفرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل (٧٧) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$R_{\text{أك}} = ١\text{م} + ٢\text{م} + ٣\text{م} = ٦,٥\text{م}$$

ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



$$\frac{1}{20} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{1}{3.62 \text{ م}}^2$$

$$\frac{1}{20} + \frac{5}{20} + \frac{4}{20} =$$

$$\frac{10}{20} =$$

$$\Omega 2 = \frac{20}{10} = 2.0 \text{ م}^2$$

$$\frac{2}{8} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4.0 \text{ م}^2}$$

$$\Omega 4 = \frac{8}{2} = 4.0 \text{ م}^2$$

شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي :

$$\Omega 50 = 4 \text{ م}^2$$

$$\Omega 8 = 5 \text{ م}^2$$

$$\Omega 8 = 16 \text{ م}^2$$

$$\Omega 4 = 12 \text{ م}^2$$

$$\Omega 4 = 24 \text{ م}^2$$

$$\Omega 20 = 36 \text{ م}^2$$

والتعويض بالقيم التي تم إيجادها يحصل على ما يلي :

$$4 + 50 + 2 = 56 \text{ م}^2$$

$$\Omega 56 = 56 \text{ م}^2$$

المقاومة المكافئة لترتيبة هذه الدائرة هي $\Omega 56$ وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة

الخاصة بمقاومات التوازي ، نحصل على النتيجة التالية :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لأي ترتيبية مقاومات موصلة على التوازي ، أقل دائماً من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

(١) إيجاد قيمة Ω للمقاومات الموصلة على التوازي في حالات خاصة :

في ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشكيات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان في إيجاد

قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

مقاومان على التوازي :

$$\text{يعاد ترتيب الصيغة } \frac{1}{24} + \frac{1}{12} = \frac{1}{\Omega 8} \text{ بعد إيجاد المعامل المشترك في المقام ،}$$

هذه الكيفية :

$$\frac{22}{22 \times 12} + \frac{12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 + 12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 - 12}{22 + 12} = \text{ك}$$

ولتأكد من ذلك نعوض عن المقاومين ١٢ ، ٢٢ بقيمتها ١٢ = ٣٠ ، ٢٢ = ١٠ ، Ω
فنحصل على ما يلي :

$$\Omega_{٧,٥} = \frac{300}{40} = \frac{10 \times 30}{10 + 20} = \text{ك}$$

أي عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

تشمل الشبكة لمبة في الشكل (٧٧) ترتيبية لمقومين لها نفس المقاومة وموصلين على التوازي ، وهما ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨ Ω . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة لـ ١ ، ٢ ، ٣ المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة في إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣ وعلى أي الأحوال ، يمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازي :

$$\frac{8 \times 8}{8 + 8} = \text{ك}$$

$$\Omega_4 = \frac{64}{16} = \text{ك}$$

ونعطي هنا طريقة أبسط كما يلي :

$$\text{ك} = \frac{\text{(قيمة المقاوم على حدة) أوم}}{\text{(عدد المقاومات الموصلة على التوازي) العدد}}$$

$$\Omega_4 = \frac{8}{2} = \text{ك}$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازي وقيمة كل منها ٣,٥ Ω

$$\Omega_{٠,٥} = \frac{2,5}{7} = \text{ك}$$

(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي :

دائرة توازي

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

دائرة توالي

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

الفصل الثامن

الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

٨ / ١ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعنى الشمل ، بأنه استفاد للطاقة في عرض من الأغراض فلشخص الذي يحمل جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلا ولنقل هذا الجوال تلزم قوة معينة - وتقطع مسافة معينة . وفيزيائيا ، فقد بذل شغل ميكانيكى (ش) يساوى حاصل ضرب القدرة (ق) في المسافة (ف) ، إذا كانا في نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$\text{ش} = \text{ق} \times \text{ف}$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا في الاعتبار الزمن الذى يبذل خلاله الشغل . فلنأخذ مثلا شخص يحمل ٢٠ جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلا أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالا فقط من الحبوب لنفس المسافة وفي نفس الزمن . وفيزيائيا ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) في المسافة (ف) مقسوما على الزمن (ز) أو الشغل مقسوما على الزمن ، وعليه فإن

$$\text{قد} = \frac{\text{ق} \times \text{ف}}{\text{ز}} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}}$$

وسوف نتناول فيما يلى الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

٨ / ٢ - الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان (٧٨) ، (٧٩) في شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

يبين الشكل (٧٨) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى (عداد واط ساعة) وأميتر ، وبحول طاقة (في هذه الحالة مصباح متوهج) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، سوف يبين العداد (لا نحتاج حاليا إلى شرح طريقة عمله) الشغل الكهربائى المدخول ، وذلك بواسطة نبيطة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . وبمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقراءته بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

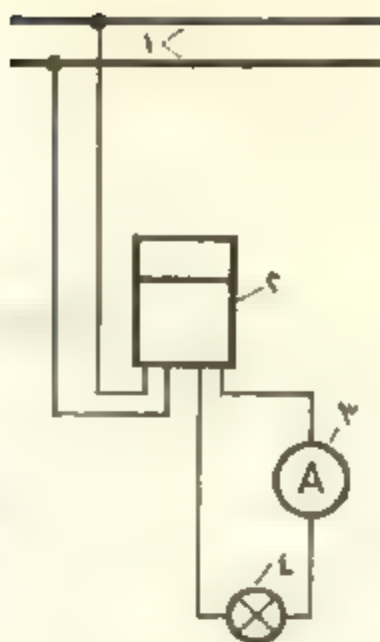
ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقراءته بعد ساعة تشغيل .

شكل ٧٩ : نفس ترتيبية الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازي .



شكل ٧٨ : ترتيبية اعتبار لتحديد الشغل الكهربائي :

- ١ - مأخذ وليس بجهد ثابت .
- ٢ - عداد كهرباء .
- ٣ - أميتر .
- ٤ - مصباح .



وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي تناسباً طردياً مع زمن التشغيل ، وذلك في حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش ٥ ز (ج ، ت ثابتان) .

يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبية المهيئة في الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازي مصباحان متوهجان بدلاً من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقننه .

وبتشغيل هذه الترتيبية ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التي حصلنا عليها في حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائي مع شدة التيار تناسباً طردياً ، في حالة ثبوت الجهد والزمن .
ش ٥ ت (ج ، ز ثابتان) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائي والجهد نحصل على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي مع الجهد تناسباً طردياً في حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش ٥ ج (ت ، ز ثابتان) .

وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :
الشغل الكهربائي (في دائرة التيار المستمر) يساوي حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

ش = ج × ت × ز .

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم 'تيار المتردد'.

٣/٨ - القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\frac{\text{الشغل الكهربائي}}{\text{الزمن}} = \text{القدرة الكهربائية}$$

$$\frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ر}}{\text{ز}} = \text{قد}$$

$$\text{وحيث أن خارج قسمة } \frac{\text{ج}}{\text{ز}} = ١ \text{ ، ينتج أن :}$$

$$\text{القدرة الكهربائية} = \text{الجهد} \times \text{شدة التيار}$$

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

القدرة الكهربائية ، في دائرة التيار المستمر ، تساوي حاصل ضرب الجهد في شدة التيار .

ووحدة القدرة لكهربائية هي فلط أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم

الانجليزي جيمس واط (١٧٣٦ - ١٨١٩) .

وحدات الشغل الكهربائي والقدرة الكهربائية :

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القدرة	قد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلوواط ساعة (ك.و.س) .

$$١ \text{ ك.و.س} = ٣٦٠٠٠٠٠ \text{ واط ثانية (و.ث) .}$$

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

$$١ \text{ كيلوواط (ك.و)} = ١٠٠٠ \text{ واط}$$

$$١ \text{ ميغاواط} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ واط}$$

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعي ليذل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل

قدرته ٢٥٠ واط ؟

المعطيات :

$$\begin{aligned} \text{قد} &= 250 \text{ واط} \\ \text{ش} &= 1 \text{ كيلواط ساعة} \end{aligned}$$

المطلوب : الزمن ر

الحل :

$$\begin{aligned} \text{قد} &= \frac{\text{ش}}{\text{ز}} , \text{ ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قد}} \\ \text{ز} &= \frac{1 \text{ ك و س}}{250 \text{ واط}} = \frac{1000 \text{ واط س}}{250 \text{ واط}} = 4 \text{ ساعة} \end{aligned}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها 4 ساعات لكى يبذل شغلا قدره 1 كيلواط ساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته 2000 واط فى منزل . يقضى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى 220 فلت بـ مصهر وقاية 10 أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتليفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

$$\begin{aligned} \text{قد} &= 2000 \text{ واط} \\ \text{ج} &= 220 \text{ فلت} \\ \text{المطلوب} & \text{ شدة التيار ت} \end{aligned}$$

الحل :

$$\begin{aligned} \text{قد} &= \text{ج} \times \text{ت} \\ \text{ت} &= \frac{\text{قد}}{\text{ج}} \\ \text{ت} &= \frac{2000 \text{ واط}}{220 \text{ فلت}} = \frac{2000 \text{ فلت أمبير}}{220 \text{ فلت}} = 9 \text{ أمبير} \end{aligned}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى 9 أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو ، تشغل فى نفس الوقت ، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد ، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية 10 أمبير .

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة الخرج النافع إلى الدخل الكلي للقدرة . ويبدل المصممون والمتحجون أقصى جهد ممكن في جميع الفروع الهندسية ، في سبيل تصميم وبناء المكينات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة في المائة . وهذا يعني أن المشتري يبحث دائما عن مثل هذه المكنة أو للجهاز الذي يكون استهلاكه وفقد طاقته أصغر ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التي حلت محل المصابيح المتوهجة في كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضا إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . وتتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣,٥ أضفاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التي لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز η (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز $قد$ وخرج القدرة بالرمز $قدخ$ وعليه .

$$\frac{قدخ}{قد} = \eta$$

ويعبر عن الكفاءة بكسر عشري (مثلا ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن لكفاءة كنسبة مئوية ، تجري الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٩ = \frac{٩٠}{١٠٠} = ٩٠ \text{ في المائة} .$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائي هو ٤٠٠ واط . وبتوصيل أمينر بخمد التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة تيار قيمتها ٢,٢٨ أميتر ، وكان جهد المأخذ الرئيسي ٢٢٠ فلف . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$$قدخ = ٤٠٠ \text{ واط}$$

$$ت = ٢,٢٨ \text{ أميتر}$$

$$ح = ٢٢٠ \text{ فلف}$$

للطلوب :

الكفاءة η

الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت} \quad \text{قد} = 2,28 \times 220 = 501,6 \text{ واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قد}_{\text{خ}}}{\text{قد}} = \eta = \frac{400 \text{ واط}}{501,6} = \eta = 0,79$$

كفاءة هذا الجهاز هي ٠,٧٩

أي أن ٧٩ في المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة به .

مثال :

تنص لوحة المقننت (لوحة البيانات) لجهاز كهربائي على أن كفاءته هي ٠,٨٥ ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

$$\begin{aligned} \text{الكفاءة } \eta &= 0,85 \\ \text{قد} &= 2500 \text{ واط} \end{aligned}$$

المطلوب : قد_ج

الحل :

$$\eta = \frac{\text{قد}_{\text{خ}}}{\text{قد}}$$

$$\text{قد}_{\text{خ}} = \eta \times \text{قد} = 0,85 \times 2500$$

$$\text{قد}_{\text{خ}} = 2115 \text{ واط}$$

خرج القدرة لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط



$$\eta = 0,93$$

$$\eta = 0,8$$

$$\eta = 0,72$$

شكل ٨٠ :
رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

وبيّن التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهميته أحد الكفاءة في الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالي ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشتمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر (وتستخدم مثل هذه التركيبات في اللحام والطلاء الكهربائي) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = ٤,٥ \text{ كيلوواط}$$

$$\eta \text{ للمحول} = ٠,٩٢$$

$$\eta \text{ للمحرك الكهربائي} = ٠,٨$$

$$\eta \text{ للمولد الكهربائي} = ٠,٧٢$$

المطلوب :

$$\eta \text{ الكفاءة الإجمالية}$$

الحل :

يمكن أولاً حساب قدر المحول ، ونعتبر هذه النتيجة قدر المحرك الكهربائي . نحسب بعد ذلك قدر للمحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر قدر للمحرك على أنها قدر للمولد الكهربائي ، ومنها يمكن حساب قدر المولد . ويمكن ربط الأخيرة مع قدر المحول . ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$$\eta = \eta \text{ للمحول} \times \eta \text{ للمحرك الكهربائي} \times \eta \text{ للمولد الكهربائي}$$

$$\eta = ٠,٩٢ \times ٠,٨ \times ٠,٧٢$$

$$\eta = ٠,٥٢$$

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٢ . وهذا يعني أن ٥٢ في المائة فقط من دخل قدرة المحول أمكن الحصول عليها كخرج قدرة للمولد أى أنه أمكن استخدام حوالى ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيسها ٤,٥ كيلوواط .

الفصل التاسع

المغناطيسية ، والمغناطيسية الكهربائية

شرحنا في مقدمة هذا الكتاب التأثير المغناطيسي لتيار الكهرباء . ويستفاد بهذا التأثير في عدة نسايط وأجهزة ومكبات مغناطيسية كهربائية . فثلا ، تشغل جميع المكثات الدوارة على مبدى " المغناطيسية الكهربائية " . ومن هذه المكثات المولدات والمحركات الكهربائية عرف الإنسان من نديم الزمن الطاهرة المغناطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الطواهر المغناطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

١/٩ - الطواهر المصاحبة للمغناطيسات الطبيعية والصناعية :

(١) نبذة تاريخية عن المغناطيسات الطبيعية :

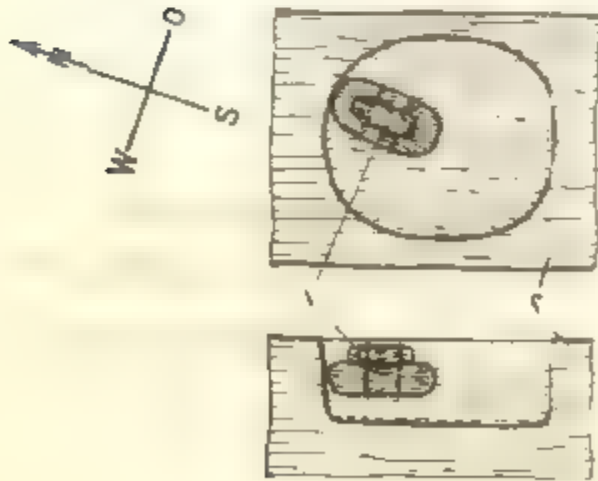
لم يعرف بعد عل وجه التأكيد أول من اكتشف الحام الذى عرف بالمجنيثيت أو حجر المغناطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الحام تأثيرا دياميكا ، يمكن ملاحظته عند جده للمواد الحديدية واليكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية في ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التلى . إذ علققت قطعة من المجنيثيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها في اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتصابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة لأرضية . وقدمت خاصية المجنيثيت هذه وسائل مقبولة لتوسيع البحارة ، خلال رحلاتهم المخوفة بالمخاطر في الأيام الأولى للبحرية .

ويبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج البسط

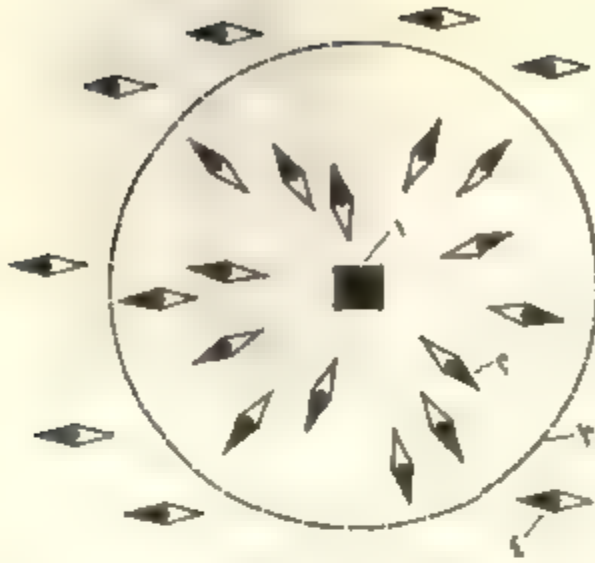
لبوصلة جبر وسكوية .



شكل ٨١ : قطعة من المجنيثيت تستخدم كبوصلة بدائية كانت أساسا لبوصلة الحديثة الجبر وسكوية .

١ - حامة مجنيثيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ - إناء خشبي مملوء بالماء ، ويسبح الحام المغناطيسي في الاتجاه بين الشمال والجنوب .



شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد في تباين المجال المغنطيسي

١ - مغنطيس .

٢ - إبرة مغنطيسية في نطاق مدى المجال المغنطيسي .

٣ - حدود المجال المغنطيسي .

٤ - إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسي .

٢/٩ - المجالات المغنطيسية :

(أ) تعريف مفهوم المجال المغنطيسي :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسي . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث تتركز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية في مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ اظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك في نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون في الاتجاه الشكالي - الجوى الأرضي .

ونخص من ذلك على الخلاصة التالية : تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس في نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسي » .

والمجال المغنطيسي هو حيز تكون المغنطيسية فعالة في نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسي أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المبين في الشكل (٩١) حقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، المجال المغنطيسي للأرض والمجال المغنطيسي للمغنطيس .

(ب) خطوط المجال المغنطيسي ونماذج خطوط المجال :

لتمتد إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسي بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسي ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسي ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) في تفهم كيفية تكوين وتحميل صورة لخطوط المجال المغنطيسي . نفخس قضيب مغنطيسي ، أو مغنطيس على هيئة حدود الحصان ، في كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .

ولا ينطبق القطبان المغنطيان لكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماماً ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ في الاعتبار عند تدريج البوصلة .
وتكون أقصى شدة لتأثير المغنطيسي عند قطبي المغنطيس .

التجاذب والتنافر :

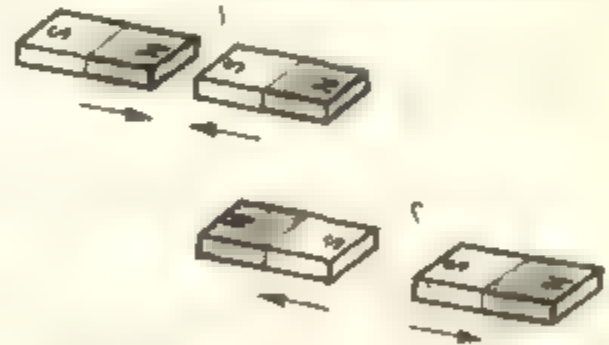
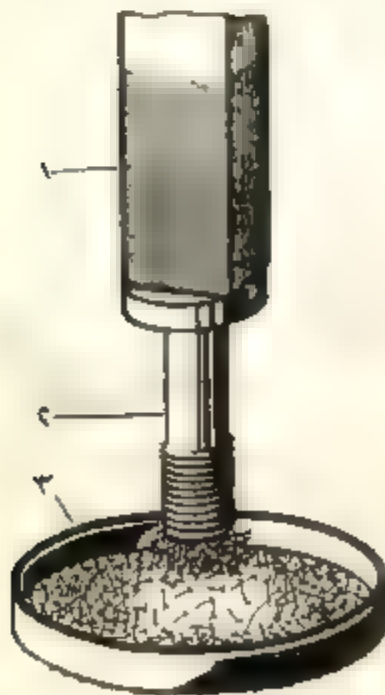
يبين الشكل (٨٥) قضيا مغنطيسيا معلق بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلي :

بتقريب القطب الشمالي للقضيب المغنطيسي نحو القطب الجنوبي للمغناطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعني أنه عندما يواجه القطب الشمالي مغنطيس القطب الجنوبي للمغناطيس الآخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما تقرب القطب الجنوبي للمغناطيس نحو القطب الجنوبي للمغناطيس المعلق ، يتحرك الأخير بعيداً عن المغنطيس المقرب . وهذا يعني أنه عندما يواجه قطب مغنطيسي قطباً مغنطيسياً آخر مشابهاً له في القطبية ، فإنهما يتنافران .

تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التي لها نفس القطبية (قانون تأثير القوى المغنطيسية) .

الحث المغنطيسي :

لقد تم وصف الحث الكهربائي عند شرح الظاهرة الاستثنائية الكهربائية . ويحدث أيضاً حث مغنطيسي كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسي فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تلمسها إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، سمار مكتة ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيداً عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .



شكل ٨٥ : تجاذب وتنافر المغنطيسات :

- ١ - يتجاذب القطب الجنوبي والقطب الشمالي .
- ٢ - تتنافر الأقطاب التي لها نفس القطبية .

شكل ٨٦ : حث المغنطيسي :

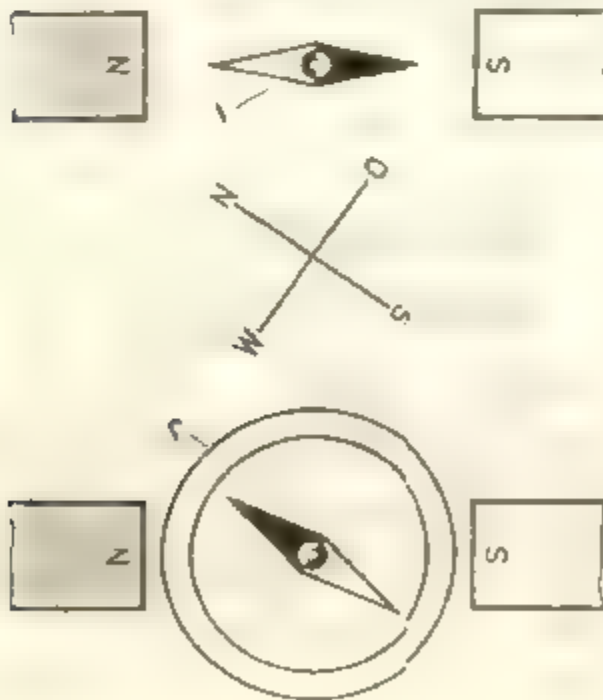
- ١ - قضيب مغنطيسي .
- ٢ - وعاء به دبابيس .
- ٣ - سمار مكتة ملولب .

(ج) الاستباقية:

إذا وضع بدلا من سلك المكنة الملوّص ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع (مادة حديدية غير مصددة) ، في الحيز بين القصب المصطليبي والديابيس ، نلاحظ أيضا سقوط الديابيس عند رفع المصطليبي ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة حديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة السابقة - لا تتلاشى المصطليسية كلية بإبعاد القصب المصطليبي المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منب . في الحديد المطاوع وتسمى هذه الظاهرة « للمصطليبي لتسقية » أو « لاستبقائية » وقد أودت هذه الظاهرة في تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتي شرح هذه فيما بعد .

تأثير الحجب المصطليبي :

لا تتجه إبرة مغناطيسية في اتجاه المصطليبية الأرضية إذ وصمت بين قضبي مصطليبي ، ولكنها تتجه في اتجاه الشمال الحثوي للقصب المصطليبي ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المصطليبي الأرضي . ويوضح حلقة من الحديد مطاوع بين قطبي المصطليبي . وإبرة مصطليبية دخلت هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبي للمصطليبي الأرضي . ويتضح أنه ليس للمصطليبي أى تأثير مصطليبي داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المصطليبي » . وتشتمل هذه الظاهرة في التوصلات المستخدمة في السفن . وعدة ما يدخل في صناعة هذه السفن ، كميات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المصطليبية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المصطليبية لصمان الصلب الصحيح لها في اتجاه الشمال الحثوي . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير حجب المصطليبي



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المصطليبي

- ١- تتجه الإبرة المصطليبية في اتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .
- ٢- إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه في الاتجاه الشمال - الجنوبي الأرضي .

(د) النظرية الجزيئية للمغناطيسية :

في مجال دراسة اطواهر المغناطيسية . كان لابد من البحث عن إجابات لعدد من الأسئلة . فمثل سبيل التشل ، يوجد دائم قطبان مختلف القطبية في المغناطيس ، ولا يوجد مغناطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغناطيسات الصلب (والمغناطيسات الخزفية) مغناطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغناطيسيات من الحديد المطاوع بمغناطيسية استبقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغناطيسية تتكون من مغناطيسيات متشابهة في الصغر تسمى « مغناطيسيات جزيئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغناطيس عند منطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغناطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبي واحد وقطب شمالي واحد . ويمكن الاستمرار في هذا التقسم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغناطيس بقطب جنوبي وقطب شمالي .

ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التي لا يمكن قطعها من المغناطيس بأدوات القطع العادية ، تظل مغناطيسات ، وبمعنى آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغناطيسية مغناطيسات . وحيث أنه يطلق على لأجزاء الصغيرة من المادة جزيئات ، فيطلق على هذه المغناطيسات الصغيرة « المغناطيسات الجزيئية » .

ويفترض أيف أن المغناطيسات الجزيئية في أي مادة مغناطيسية بعيدة عن التأثير المغناطيسي تكون في أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه معص (الشكل ٨٩) .

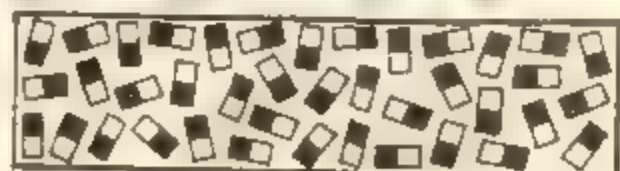
وعند مضطعة هذه المواد المغناطيسية مثلاً ، بذلك نصيب مغناطيسي ، ترتب المغناطيسات الجزيئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمضطعة الحديد المطاوع ، يعتقد مغناطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغناطيسات الجزيئية به في حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستبقائية . وعندما يفقد الصلب اتجاهه إلى مغناطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغناطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



شكل ٨٨ : تقسيم المغناطيسات .



شكل ٩٠ : مغناطيسات جزيئية مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٩ : مغناطيسات جزيئية غير مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٢ : مغنطيات خرفية
(VEB Keramische Werke
Hermsdorf, GDR)

(ب) المغنطيات الصناعية :

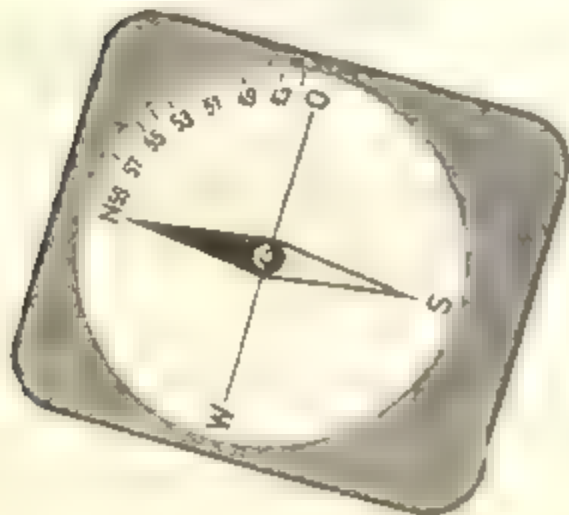
لم يعد للمجتمعات أهمية عملية في هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيات صناعية من الصلب وسائكه وكذلك مغنطيات خرفية ويمكن صنع الأخيرة في أى شكل مطلوب كما في الشكل (٨٢) .

ونبدأ هـ بإيضاح بصفة مفاهيم خاصة بالمغناطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغناطيسي على سبيل المثال :

الأقطاب :

يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغناطيسيا موصوعا على مرادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الفالبيتة العظمى من هذه البرادة تتعلق بهائتي القضيب ، ويطلق على هاتين الهائيتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغناطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمال والقطب الجنوبي للمغناطيس وتشتق تسمية القطبين من توجيه مغناطيس يعلق تعليقا حرا ، فالقطب الشمال هو الذي يشير إلى الشمال الجغرافي .

وبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيب المغناطيسي على هيئة إبرة مغناطيسية .



شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغناطيسي .

- ١ - تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
- ٢ - تأثير القوى في المنطقة المحايدة غير ملحوظ .

شكل ٨٤ : بوصلة في وضع اتجاه الشمال - الجنوب .

شكل ٩٢ : قضيب مغناطيسي
معلق به برادة حديد .

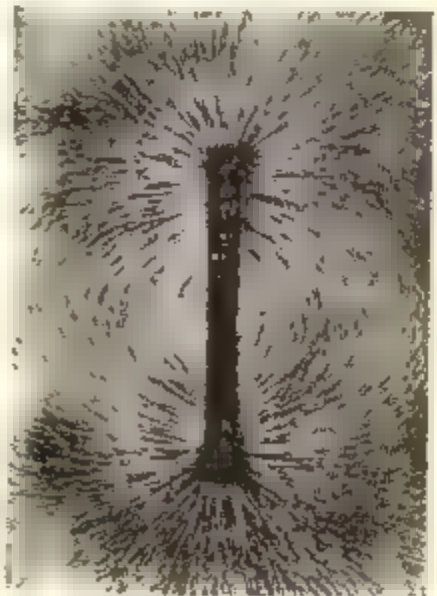


شكل ٩٣ : مغناطيس على هيئة
حنوة الحصان معلق به برادة
حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كمية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغناطيسي في المنطقة الحديدية منه ، بينما توحّد القوى المغناطيسية عند قطبي مغناطيس حنوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير الخاص بالمغناطيسية .

ويمكن إفصاح خطوط الفيض المغناطيسي بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج معطى ببرادة الحديد ، ونضع مغناطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دق خفيف ، تنظم الأجزاء نفسها بترتيبة معينة مبيّنة خطوط الفيض المغناطيسي على هيئة خطوط متقاربة نوعاً ، ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) موضحين لخطوط الفيض المغناطيسي .

شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغناطيسي
لقضيب مغناطيسي يمكن مشاهدته
بمساعدة برادة الحديد .



شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغناطيسي
لمغناطيس على هيئة حنوة الحصان
يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .

ويستخلص من ذلك ما يلي :

خطوط الفيض المغنطيسي هي خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

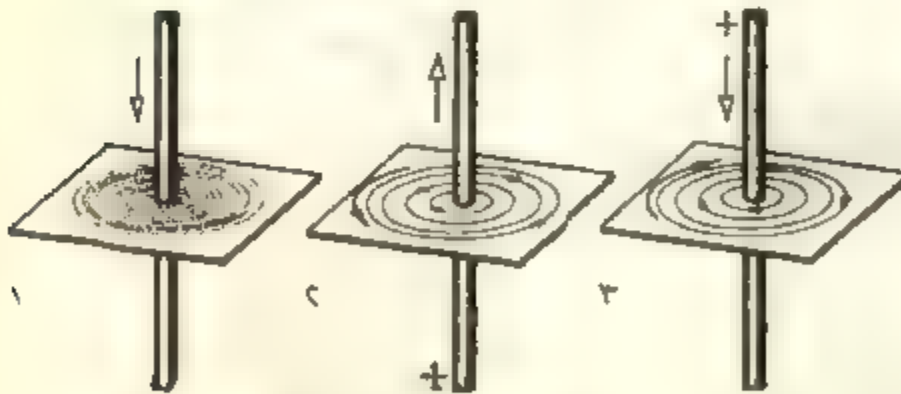
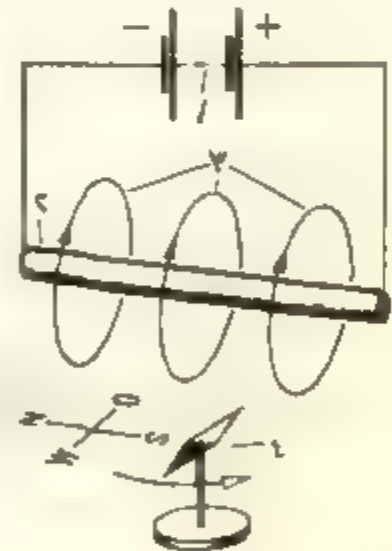
شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى لتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية حيث لاحظ فى عام ١٩٢٠ انحراف الوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال - الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى وأوضحت التحارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

(١) المجال المغنطيسى الموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترقية الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد ويبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى . ويعتمد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبر المغنطيسية .

شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

- ١ - مصدر جهد .
- ٢ - موصل .
- ٣ - خطوط الفيض واتجاهها .
- ٤ - الإبرة المغنطيسية المنحرفة .



شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبين العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

- ١ - خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
- ٢ - اتجاه خطوط المجال .
- ٣ - اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .

ويبين الشكل (٩٧) ترتيب اختبار بها موصل يحترق لوحاً من الزجاج مغلفاً ببرادة الحديد السعة . وعند إمرار تيار كهربائي بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسه طفق خطوط الفيض مكونة نموذجاً نوعياً للمجال المغنطيسي للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية في هذه الترتيب (وذلك بحمل التيار الكهربائي يمر في عكس اتجاهه الأول) ، يعكس أيضاً اتجاه الفيض . ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي التي تعتمد على اتجاه التيار الكهربائي ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

قاعدة اللولب :

عند ربط مسبار ملولب يمتد إلى أسفل في اتجاه سريان التيار الكهربائي ، فإن اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسي .

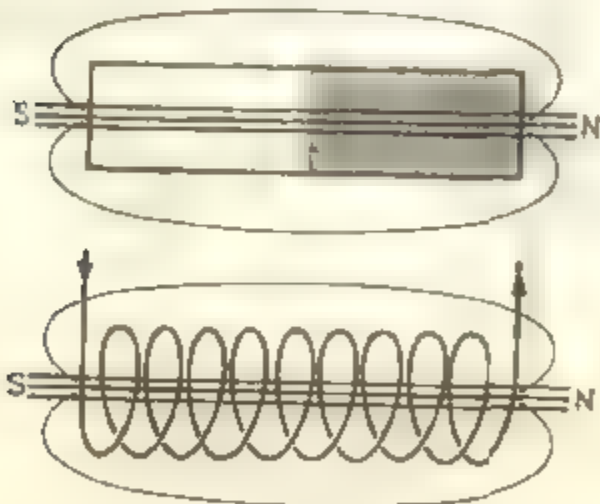
قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي .

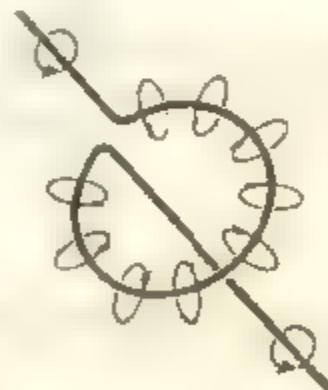
(ب) المجال المغنطيسي لملف حامل للتيار الكهربائي :

عند ثني موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائي خلاله . ويبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

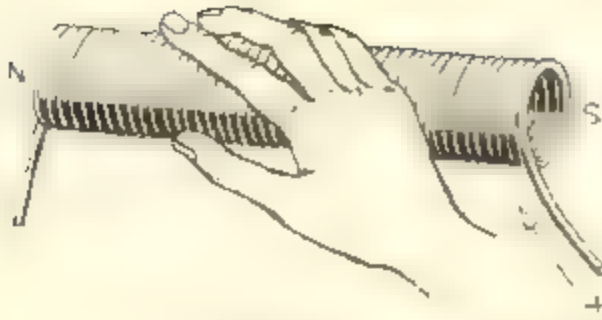
وبوضع عدة لفيقات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان حوله هذا الملف كبيراً بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا الملف عندما يمر خلاله تيار كهربائي ، يشبه تماماً تأثير قضيب مغنطيسي (الشكل ٩٩) .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسي وملف حامل للتيار الكهربائي .



شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية في ملف حامل للتيار الكهربائي .



شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف لحمل للتيار بمساعدة القاعدة التاليتين :

قاعدة عقارب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواحه للطر هو القطب الجنوبي إذا مر التيار عبر الملف في اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالي إذا مر التيار في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام (الشكل ١٠٠) :

عند القبض على ملف بإيد اليمى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالى .

(ح) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة لتيار الكهربائى :

بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة لتيار الكهربائى عن نيائط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض اسحت نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة لتيار الكهربائى .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

نستخدم هذه الطريقة بكثرة ليد اتجاه التيار في موصل وبين الشكل (١٠١) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار في كل منهما سهم مودر لها . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، في هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار في اتجاه عكسى ، تظهر مؤخرة سهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .



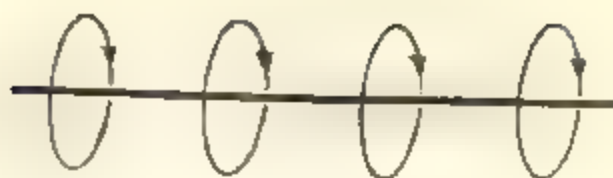
شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار في الموصلات .

١ - قطعتان لموصلين وموضح عليهما اتجاه سريان التيار .

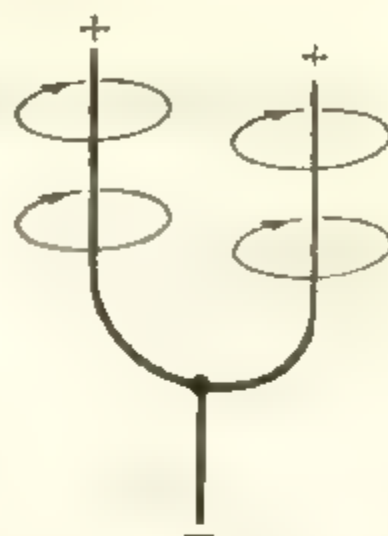
٢ - يسرى التيار في اتجاه الناظر .

٣ - يسرى التيار في الاتجاه العكسى للناظر .

شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال
المغناطيسي :



شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .

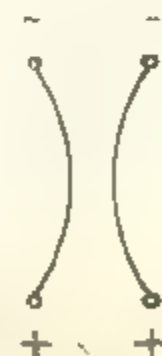


شكل ١٠٤ : تمثيل المجال المغناطيسي لموصلين
متوازيين يحملان التيار في نفس الاتجاه .



ويبين الشكل (١٠٢) موصلًا كهربائيًا وخطوط المجال المغناطيسي تحيط به . وبشيء هذا الموصل
كما في الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغناطيسي كما هو مبين في الشكل (١٠٤) .
وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع الصلب ، يحدث تجاذب متبادل بينهما
عند مرور تيار بشدة كافية خلاهما (الشكل ١٠٥) .

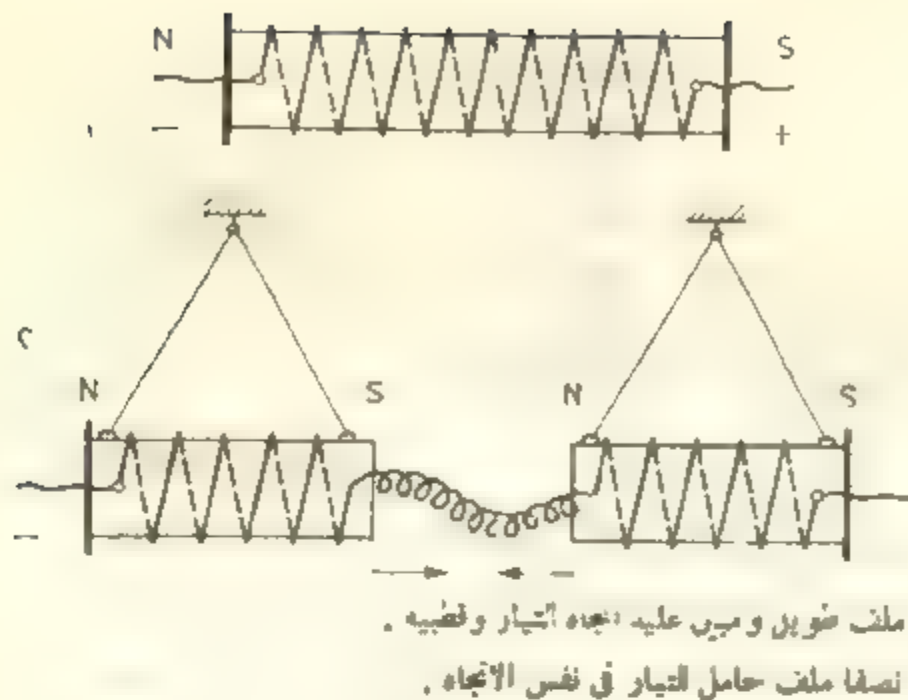
وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين في اتجاه يصاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط
الفيض الموضح المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات
في اتجاه يصاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .



شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل
بين موصلين متوازيين حاملين
التيار الكهربائي .

شكل ١٠٦ : تشكيل المجال للمغناطيسي
حول موصلين متوازيين حاملين للتيار
في اتجاهين متضادين .

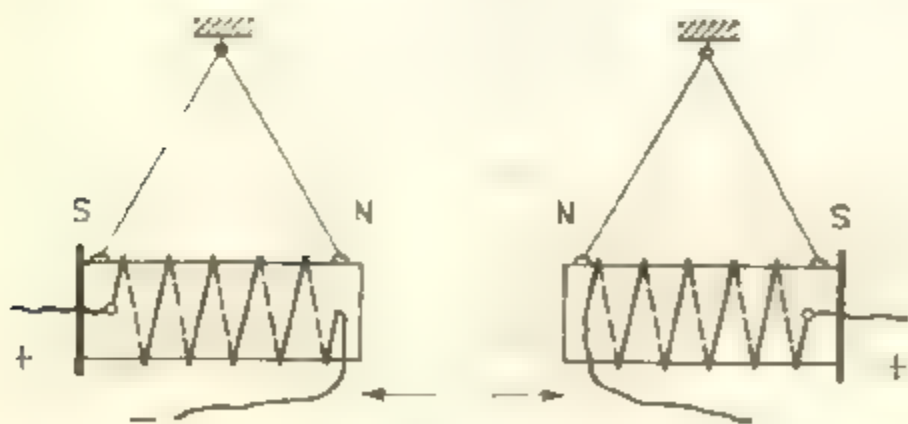
شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين
متوازيين حاملين للتيار
الكهربائي .



شكل ١٠٨ :
التجاذب المتبادل بين
ملفين حاملين للتيار
الكهربائى :

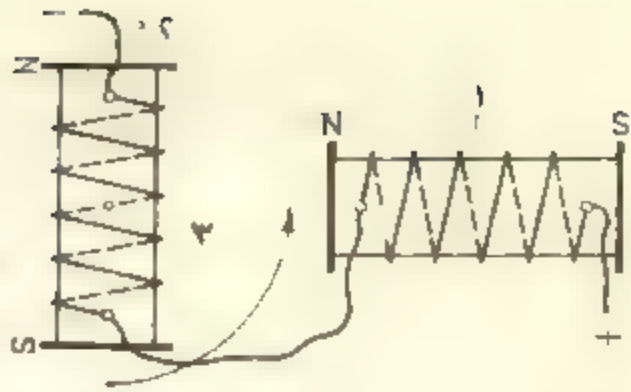
التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

بمقدرة تصرف ملفات الحاملة للتيار الكهربائى كالمغناطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغناطيسى والقلبية . ويؤدى هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التى تلاحظ عند تقسيم قصاصات المغناطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القصيب المغناطيسى إلى قسمين يسمح به مغناطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التعميم . وينطبق هذا تمام على ملفات الحاملة للتيار الكهربائى ، كما هو مبين - لشكل (١٠٨) . ويقسم الملف (١) إلى نصفين المعقدين والموصلين بالعريضة الموصلة فى (٢) وبمرار التيار الكهربائى عبر هذه الترتيبية ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار فى أحدهما (الشكل ١٠٩) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل للملفين حاملين لتيارين في اتجاهين متضادين

شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :
 ١ - ملف مثبت . ٢ - محور ارتكاز .
 ٣ - ملف متحرك .



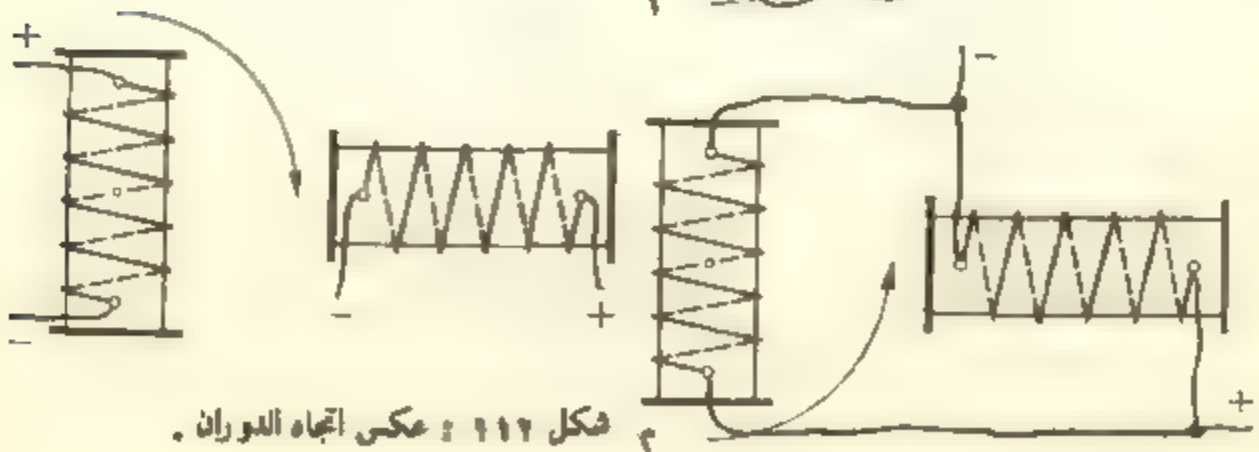
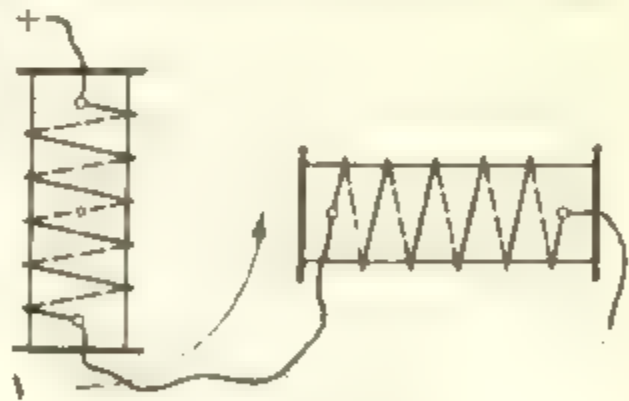
دوران الملفات الحاملة للتيار :

عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائي، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها
 حر الدوران أمام الآخر، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠).
 وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبية، يدور الملف القابل للدوران، حتى يصبح قطبه الجنوبي
 مقابلا لقطب الشمال للملف الثابت. ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا. ونحصل على نفس
 اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائي المار عبر كلا الملفين، أو بمعنى آخر، بعكس القطبية
 (الشكل ١١١ - ١). ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما في الحالتين السابقتين بتوصيل
 الملفين على التوازي كما في الشكل (١١١ - ٢).

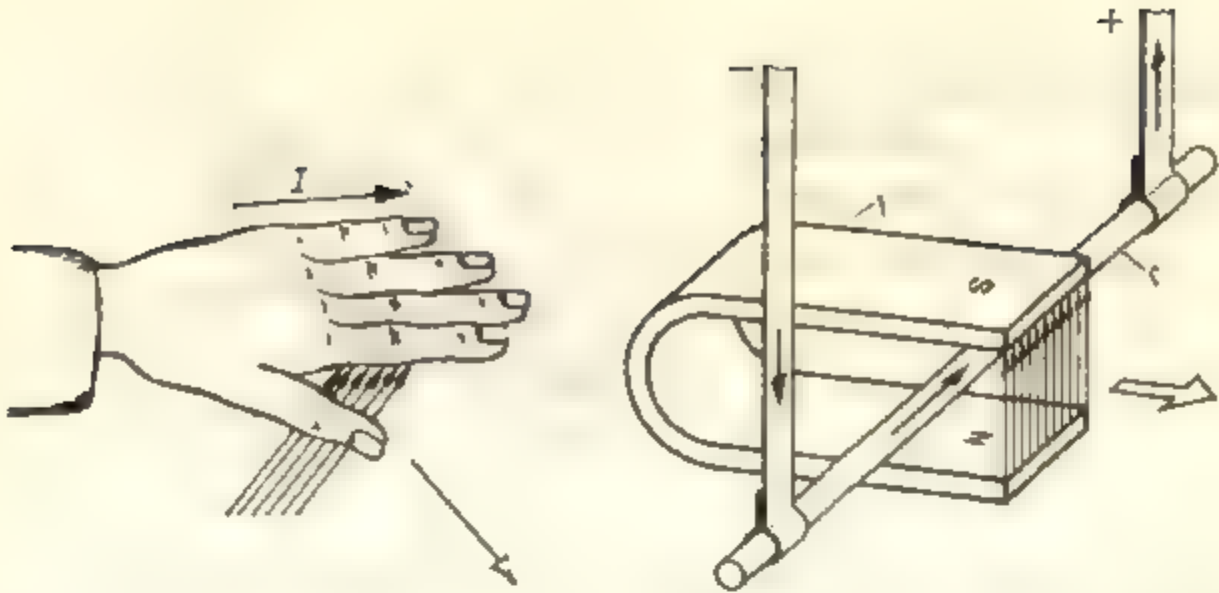
ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢).

شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة
 للتيار لكهربائي :

١ - اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .
 ٢ - اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين
 على التوازي .



شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .



شكل ١١٣ : موصل حامل لتيار في المجال المغنطيسي شكل ١١٤ : توضيح لقاعدة اليد اليسرى .
لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :
١ - مغنطيس حدوة الحصان . ٢ - موصل متحرك .

وتستغل هذه الظاهرة في آلات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحراف المؤشر المثبت في الملف المتحرك ، هو قياس للكمية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيل لهذه التنبؤات .

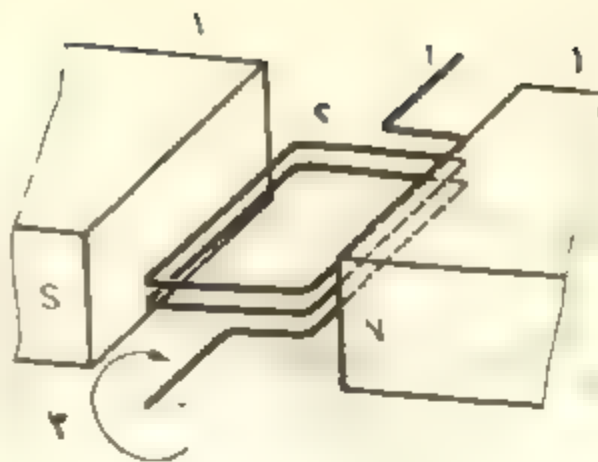
(د) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :
والسؤال الذي يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الوصلات والملفات الحاملة للتيار في المجالات المغنطيسية التي تنتجها المغنطيسيات الصناعية (المغنطيسات الدائمة)
الموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا لتيار في مجال مغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان .
عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المغنطيسي (ينحرف) . ولإيضاح ذلك ، يعلق الموصل بشريط توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسي ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذي شدة كافية عبر الترتيبة .
ويمبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسي تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائي ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .
الملف الحامل للتيار في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا لتيار في مجال مغنطيسي على هيئة حدوة الحصان .
يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائي بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .

- شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار في مجال
بين قطبي مغناطيس .
١ - قطبا مغناطيس . ٣ - اتجاه الدوران .
٢ - ملف مثبت على محور ارتكاز .



وهذه الظاهرة المغناطيسية الكهربائية هي الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية
والحركات الكهربائية التي ستناقش في أقسام مستقلة من الكتاب .

٤/١ - كميات لتحديد القوة المجالات المغناطيسية :

(أ) الموصلية المغناطيسية - النفاذية :

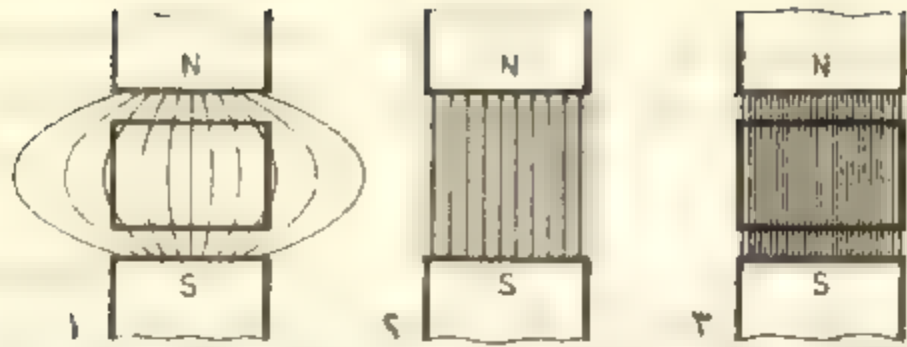
عندما نضع مغناطيسا صغيرا في مجال مغناطيسي يحدث تأثير ديناميكي يجذب أو يبعد هذا
المغناطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغناطيس بالنسبة للمجال المغناطيسي ويمكن قياس مثل هذا
التأثير الديناميكي على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركي
ويمكن لمجالين مغناطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكين مختلفين على مغناطيس
صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلي :

يكون للمجال المغناطيسي الذي يحدث قوة أكبر على مغناطيس ، خطوط مغناطيسية للميض
« كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذي له نفس المدى والذي يحدث قوة أقل على هذا المغناطيس .
وتعتمد كثافة خطوط المجال المغناطيسي على نوع المادة التي يحدث فيها هذا المجال . وتسمى
خاصية المادة التي تؤثر على كثافة خطوط المجال المغناطيسي « الموصلية المغناطيسية » أو « النفاذية »
ويرمز لهذه الكمية بالرمز μ (ميو) .

(ب) المواد الناعمة مغناطيسية والباراغناطيسية :

النفاذية لمادة ما هي عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغناطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة
بالهواء ($\mu = 1$) .

فالمواد التي تؤثر على المجال المغناطيسي فتقلل كثافة خطوط المجال المغناطيسي (مثل البزموت
والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب) تسمى « مواد ديامغناطيسية » ونفاذيتها $\mu = 1$.
وأما المواد التي تؤثر على المجال المغناطيسي فتزيد من كثافة خطوط المجال المغناطيسي (مثل



شكل ١١٦ : المواد الدايما مغناطيسية والبارا مغناطيسية :

١ - تشكيل المجال المغناطيسي في وسط دايما مغناطيسي .

٢ - تشكيل المجال المغناطيسي في الهواء كوسط .

٣ - تشكيل المجال المغناطيسي في وسط بارا مغناطيسي .

الألومنيوم والبلاتين وفي نطاق مدى معين لدرجة الحرارة (الحديد والصلب والكوبلت والنيكل) ، فتسمى « مواد بارا مغناطيسية » ونفاذيتها $\mu < 1$ (الشكل ١١٦) .

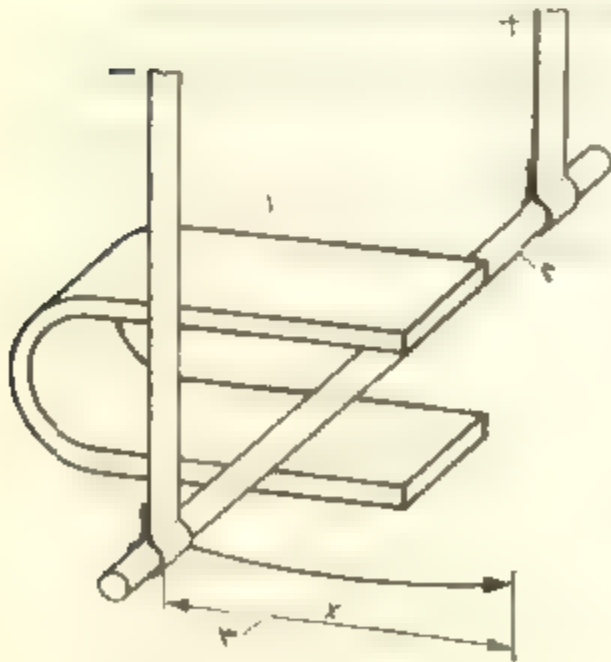
(ح) الحث المغناطيسي :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغناطيسي تسمى كثافة الفيض المغناطيسي . وهناك علاقة بين الحث المغناطيسي والنوطة الميكانيكية للقوة (ق) وعندة التيار الكهربائي (ت) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالى : بين الشكل (١١٧) موصلان من نوع القضيب ، مملقا حرا في المجال المغناطيسي لمغناطيس على هيئة حلوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائي (ت) عبر هذا الموصل ، فإنه ينحرف بعيدا عن المجال المغناطيسي . والقوة (ق) التى تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف (س) . وعمل هذا فإن :

ق \propto س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة (ق) تتناسب طرديا مع شدة التيار (ت) . أى أن :

ق \propto ت



شكل ١١٧ : الحث المغناطيسي :

١ - مغناطيس على هيئة حلوة الحصان .

٢ - موصل قابل للحركة .

٣ - انحراف (س) نتيجة إمرار التيار .

وبترتيب عدة مغناطيسات على هيئة حلوة الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيب في هذه الترتيبية بنفس الكمية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبية عليه :

ق \propto ل

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغناطيس على هيئة حلوة الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإسرار نفس شدة التيار (ت) ، ويكون الموصل نفس الطول كما في الترتيبية السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغناطيسي المستعمل في هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج (س) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل (ت ، ل) كما في التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغناطيسي في هذه العلاقة : ق \propto ت \times ل نحصل على هذه الصيغة :

ق = ف \times ت \times ل حيث ف (B) هو الحث المغناطيسي . وبحل هذه الصيغة لإيجاد ف \times م يتج :

$$\frac{ق}{ت \times ل} = (ف \times م)$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن (ق) بالنيوتن ، وشدة التيار (ت) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}} = ف \times م$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغناطيسي . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكي والكهربائي ، كما هو معروف في نظام الوحدات المستخدمة هنا أي أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغناطيسي ف \times م

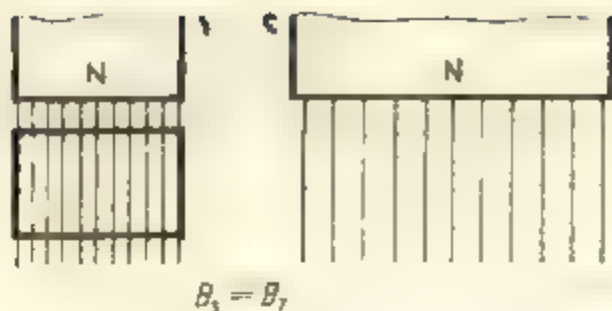
فل . مب . ث = نيوتن . م

وبقسمة الصيغة على مب .

$$\frac{\text{نيوتن} \times \text{م}}{\text{مب}} = \text{فل} . \text{ث} . \text{مب}$$

وبقسمة الصيغة على م² .

$$\frac{\text{فل} . \text{ث} . \text{مب}}{\text{م}^2} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}}$$



شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغناطيسي :

١ - عدد كبير من خطوط المجال المغناطيسي

في وحدة المساحة .

٢ - عدد أصغر من خطوط المجال المغناطيسي

في وحدة المساحة .

$$\frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}} = \frac{\text{أمبير} \times \text{متر}}{\text{متر}} \quad \text{أ. قيوطن}$$

ف (B) لها نفس القيمة في كلتا الحالتين :

ونكتب أيضا الوحدة ($\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$) للحث المغناطيسي ف $\frac{\text{ويبر}}{\text{م}^2}$ لأنه يطلق على « فلط . ثانية »

المصطلح « ويبر » نسبة إلى عالم الفيزياء (Weber) .

وكثافة المجال المغناطيسي هي الحث المغناطيسي (ف) ووحدة $\frac{\text{ويبر}}{\text{م}^2}$

(د) الفيض المغناطيسي :

اعتبرنا حتى الآن الحث المغناطيسي بصرف النظر عن الحيز الذي يشغله المجال المغناطيسي وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة في الخدمة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتي تمر خلالها خطوط الفيض المغناطيسي عموديا عليها .

ويوضح الشكل (١١٨) مجالين مغناطيسيين لهما نفس الحث المغناطيسي ف $\frac{\text{ويبر}}{\text{م}^2}$ لمقارنة .

يستخدم الصواب في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال في حالة المجال المغناطيسي الذي حثه

ف (B₁) ، بينما يستخدم الهواء في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال المغناطيسي الذي حثه ف

(B₂) . ويتضح أن المساحة التي تمر عبرها خطوط الحث في الحالة الأولى تكون صغيرة

نوعا عنها في الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوي الحث المغناطيسي في كلتا الحالتين . ولتمييز

العلاقة بين كثافة الحث المغناطيسي (ف) والمساحة (ج) التي يمر عبرها هذا الحث ، يطلق

على حاصل ضرب هاتين الكيتين (ج × ف) « الفيض المغناطيسي » ، ويرمز لها بالرمز (Φ) (فاي)

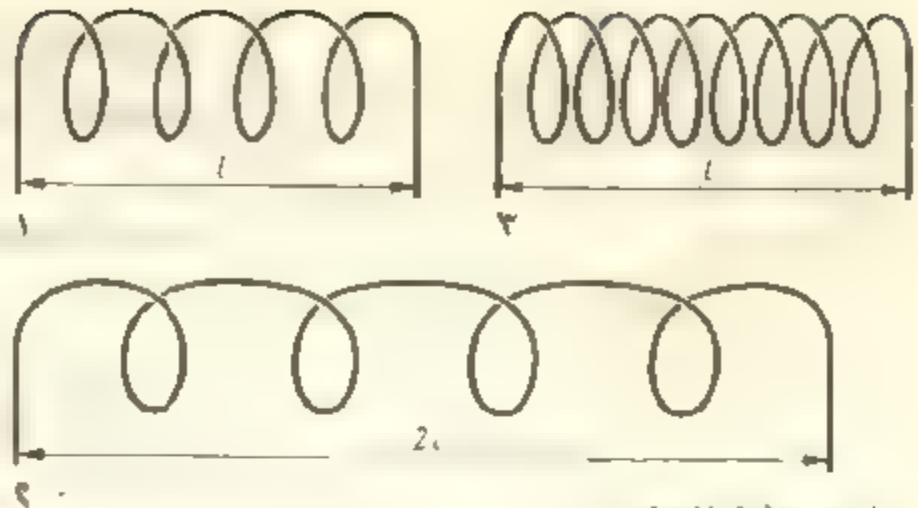
ومن ذلك يتضح أن :

$$\Phi = \text{ف} \times \text{ج} \quad \text{①}$$

وحيث أن ف يعبر عنها $\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$ أو $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$ والمساحة (ج) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة

الفيض المغناطيسي ① هي الوبر (فل . ث) .

شكل ١١٩ :
إيضاح شدة المجال
المغناطيسي :
١ - ملف (١) من ٤
لفات $l = 1$
٢ - ملف (٢) من ٤
لفات $l = 2$
٣ - ملف (٣) من ٨
لفات $l = 1$



(٨) شدة المجال المغناطيسي :

يبين الشكل (٩٩) أن المجال المغناطيسي لكل من قضيب مغناطيسي وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغناطيسي لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة (مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغناطيسي) . والحث المغناطيسي هو كمية تعطى لإيجاد قيمة المجال المغناطيسي . ويمكن تعريف المجالات المغناطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد ليميئات هذا الملف وشدة التيار الكهربائي المار عبره . ويبين الشكل (١١٩) ثلاث لميمات ، قطر لمعاتها ومقاس سلكها (مقطعه المستعرض) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها (ن) وطول لمعاتها (ل) فقط .
أولاً : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف (١) . ويقاس الحث المغناطيسي F_M في كل حالة . وإذا أمررنا تياراً شدته أعلى ، يزداد الحث المغناطيسي كذلك . وعليه فإن :

$$F_M \propto I$$

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف (١) أولاً ، ثم عبر الملف (٢) ، فيبين تحديد الحث المغناطيسي في كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساوياً ، وعليه فإن :

$$F_M \propto N$$

وعندما تمرر تياراً له نفس الشدة ، أولاً عبر الملف (١) ، ثم عبر الملف (٢) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغناطيسي في الملف (٢) الذي طوله ضعف طول الملف (١) ولها نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المغناطيسي في الملف (١) . وهذان :

$$F_M \propto \frac{1}{l}$$

وبدماج هذه النتائج معاً في تعبير واحد نحصل على ما يلي : $F_M \propto \frac{NI}{l}$

ولكن المصطلح $\frac{ت \times ن}{ل}$ هو تعبير رمزي للحث المغنطيسي ، ورمزه μ (H) ، وعليه تكون شدة المجال المغنطيسي :

$$\frac{ت \times ن}{ل} = \mu$$

ونظرا لأن عدد الفاتن هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شدة المجال المغنطيسي (μ)

$$\frac{مب}{م}$$

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسي بالحث المغنطيسي (μ) ممرا عنه ($\frac{وب}{م}$) ، أو بشدة

المجال المغنطيسي (μ) ممرا عنها ($\frac{مب}{م}$) . وهاتان الكيتمتان تتناسان مع بعضهما البعض .
(و) النفاذية المطلقة للميز المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب $\mu \propto \frac{ت \times ن}{ل}$ بالصيغة التالية :

$$\mu = \frac{ف}{م} (B) \propto \frac{ف}{م} (H) .$$

ولتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت μ_0 وفيته :

$$\mu_0 = \frac{ف}{م} = \frac{ف . ث}{مب . م} = \frac{ف . ث}{مب . م} \times 10^{-10} = 4\pi \times 10^{-10} \frac{ف . ث}{مب . م}$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة للميز المطلق » ويطلق عليه أيضا « ثابت المجال للمغنطيسي » .

ومن هذا ينتج أن :

$$\mu = \mu_0$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة للوحدات التالية :

$$\frac{ف . ث}{مب . م} = \frac{ف . ث}{م} \times \frac{مب}{م} = \frac{ف . ث}{م} \times \frac{مب}{م}$$

وهي نفس وحدة الحث المغنطيسي (μ) .

(ز) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية μ التي كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » .

ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة للميز المطلق μ_0 ، وعليه فإن :

$$\mu = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي}$$

حيث μ_0 نسبي هي النفاذية النسبية ، وهي عدد بدون أبعاد ، فثلا μ نسبي للجزء

هي ٧٩٦ ،
وعليه فان :

$$\mu = 1,256 \times 10^{-6} \times \frac{\text{قل . ث}}{\text{م . ب}} \times 0,796$$

$$= 0,9998 \times 10^{-6} \times \frac{\text{قل . ث}}{\text{م . ب}}$$

ويبين ذلك أن تناسب الطردى لثث المغنطيسى وشدة المجال المغنطيسى (الشدة المغنطيسية) ،
يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$$\text{ف} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{ا} ، \text{أو} \text{ف} = \mu \times \text{ا}$$

(ج) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسى ، والميض المغنطيسى ، والشدة المغنطيسية ،
يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم في دائرة التيار المستمر .
نعرف أن :

$$\text{ف} = \text{ا} \times \text{ج} \text{ أيضا}$$

حيث ج = المساحة التي تمر بها خطوط الفيض .

$$\mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{ا} \times \text{ج} = \text{ف}$$

$$\mu \times \text{ا} \times \text{ج} = \text{ف}$$

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلي :

$$\mu = \text{ف} \times \frac{\text{ث} \times \text{ن}}{\text{ل}} \times \text{ج} \text{ وتحلل إلى}$$

$$\mu = \frac{\text{ث} \times \text{ن}}{\text{ل}} : \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{\text{ج}} \text{ وقرتب بالصيغة التالية :}$$

$$\frac{\text{ث} \times \text{ن}}{\text{ل}} = \frac{\text{ف}}{\mu \times \text{ج}}$$

ويطلق على العلاقة $\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}}$ المقاومة المغنطيسية (م) :

$$\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}} = \text{م} \text{ وعليه فان :}$$

ويمكن أن نعتبر أن $\mu = \frac{L}{\lambda \times \mu}$ كما هو الحال في قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : (ت \times ن) « القوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغناطيسي » . ويرمز للقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية بالرمز Θ (ثيتا) ، وعليه يتج أن :

$$\frac{\Theta}{\mu} = \text{ت}$$

وبالمناظرة مع قانون أوم في دائرة التيار المستمر نجد :

$$\text{ت} = \frac{ج}{م}$$

وللقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية أهمية عملية في تصحيح المكثات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغناطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسي المعول عليه . ووحدة القوة الدافعة المغناطيسية هي « الأسبر » . وفي بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة القوة الدافعة المغناطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا في مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٤/٥ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي :

(١) المواد المغناطيسية الحديدية :

هند مناقشة الكليات اللازمة لتحديد المجال المغناطيسي ، شرحا الموصلية المغناطيسية المسماة « نفاذية » . وفي هذا الشأن شرحنا العلاقة $\mu = \frac{L}{\lambda}$. وللاستطراد في شرح المغناطيسية ، يجب أولا أن نعطى بعض التفاصيل للمواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية . وتكون قيمة μ لعدد من المواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أي الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغناطيسية ، تزيد قيمة μ فيها على واحد صحيح ($\mu > 1$) بدرجة يمكن أخذها في الاعتبار في نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغناطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمغنيز . وتميز المواد المغناطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغناطيسية H . وهذا يعني أن نفاذية المواد المغناطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة H خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغناطيسية الحديدية كوسط في المجال المغناطيسي ، فإن الحث المغناطيسي (Φ) سيزداد مقابى زيادة طفيفة في شدة المجال المغناطيسي (H) . وذلك بمعدل أعلى ساعباريا - من المعدل الذى نحصل عليه في الهواء كوسط .

(ب) التمهيط ، والتشيع :

لتحديد قيمة الحث المغناطيسي لمجال مغناطيسي نتيجة لتأثير مغناطيسية حديدية ، تمهيط هذه المادة مبتدئين بشدة مجال $H = 0$ صفر . ونرسم القيم Φ التى نحصل عليها مقابل (H) .

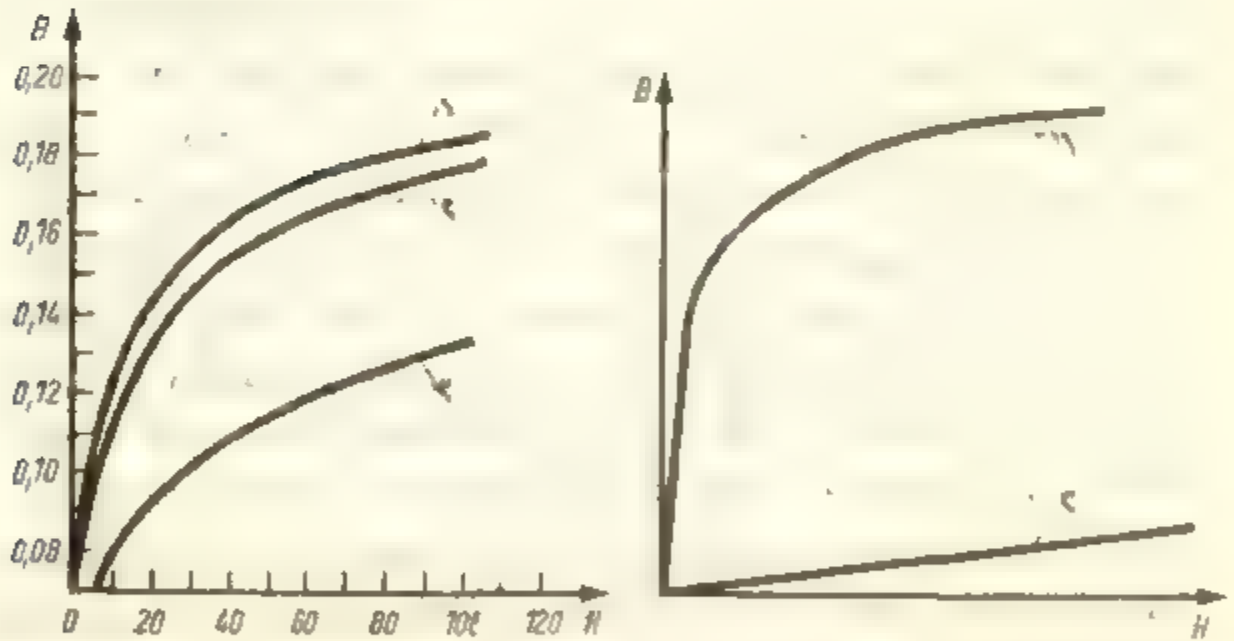
يُنتج منحنى يميز للمادة المغناطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة (هـ)
 عمليا بزيادة شدة التيار (ت) باستمرار ، بينما يبقى عدد الفات (ن) والطول (ل) ثابتين ،
 للملف المستخدم في التجربة .

وبين الشكل (١٢٠) منحنى التغمط لمادة مغناطيسية حديدية . والمقارنة نرسم قيم الحث
 المغناطيسى التى نحصل عليها في حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغناطيسى ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغناطيسى
 بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغناطيسية حديدية كوسط .
 ومن هذه النقطة يبقى لمنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغناطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل (١٢١) منحنيات التغمط لبضع مواد مغناطيسية حديدية مستخدمة في
 الهندسة الكهربائية . ويمر عن فـ بالوحدة $\frac{\text{ويبر}}{\text{متر مربع}}$ ، $\left(\frac{\text{ويبر}}{\text{م}^2} \right)$ ، هـ بالوحدة $\frac{\text{مب}}{\text{سم}}$

ويطلق على هذه المنحنيات في حالة المواد التى لم يسبق تغمطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات
 أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



شكل ١٢١ : منحنيات تغمط :

- ١ - شريحة دينامو .
- ٢ - غلاف صلب .
- ٣ - حديد زهر .

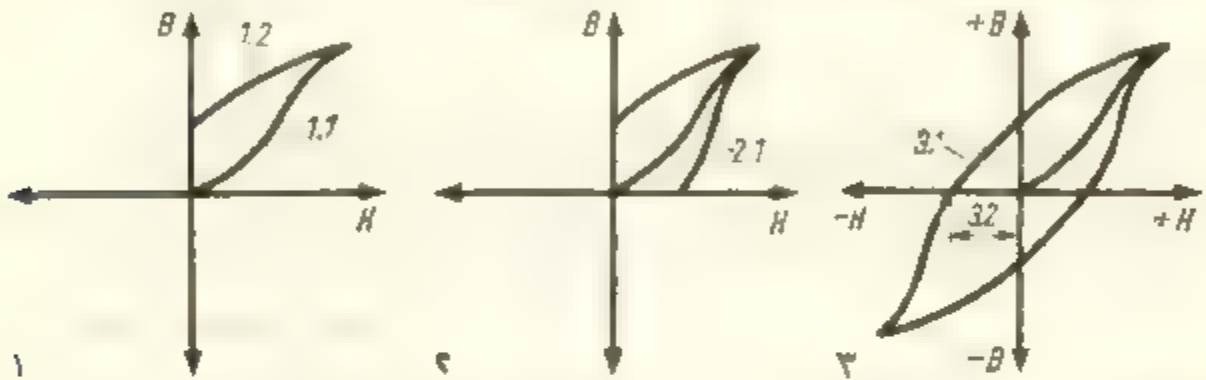
شكل ١٢٠ : منحنى التغمط لمادة مغناطيسية حديدية :

- ١ - منحنى لمادة مغناطيسية حديدية .
- ٢ - المنحنى الذى نحصل عليه باستخدام الهواء كوسط .

(ج) التخلفية :

يوضح الشكل (١٢٢ - ١) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمهيط عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأول (١ ، ١) - ونخفض قيمة شدة المجال المغناطيسى (هـ) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار (ت) ونقاس قيم F_m فى كل حالة ، ونرسم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم (هـ) على منحنى بيان . يأخذ المنحنى مساراً آخر (١ ، ٢) ، أى تساوى الشدة المغناطيسية (هـ) صفراً ، عندما يكون الحث المغناطيسى F_m أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمهيط ، نحصل على منحنى التمهيط (١ ، ٢) فى الشكل (١٢٢ - ٢) وهذا المنحنى يحدد أيضاً عن المنحنى الأول .



شكل ١٢٢ : تطور أنشودة التخلفية :

أنشودة التخلفية .

١,٣ - إستباقية .

٢,٣ - قوة قهرية .

١ - ١,١ - منحنى أولى .

٢,١ - منحنى بعد التمهيط العكسى .

٢ - ١,٢ - منحنى بعد التمهيط مرة ثانية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للمنهبط ، ونسمى « تمهيط عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشودة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة (ف - هـ) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ* عن تخفيض (هـ) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء (١ ، ٣) المنحنى فى الشكل (١٢٢ - ٢) ، أن قيمة الحث المغناطيسى (F_m) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغناطيسية (هـ) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغناطيسى « المغناطيسية المتبقية » أو « الاستباقية » . (الفصل التاسع - البند الأول) ، ويطلق على الشدة المغناطيسية (هـ) اللازمة لإزالة الاستباقية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغناطيسيا . ويلزم للمواد الصلدة مغناطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستباقية ، بينما تحتاج للمواد الطرية مغناطيسيا إلى قوة قهرية

أصغر . وتعد لذلك تكون أنشطة التخلفية للمواد المغناطيسية الصلدة ، أوسع اعتباريا من تلك الخاصة بالمواد المغناطيسية الطرية .

(د) المغناطيسات الكهربائية :

تستخدم ملدات لها قلوب من مواد مغناطيسية حديدية كغناطيسات كهربائية ، على هيئة مغناطيسات رفع ، كما في المغناطيسات المستعملة في المرحلات واللامسات والقوابص المغناطيسية والصمامات المغناطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغناطيس بدقة كافية .

وعموما ، تستخدم في الحياة العملية طرق حماية تعطى قيا تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرغوبة للفرض المطلوب . وفيما يلي مثالان :

مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغناطيسية اللازمة ل لوحة تثبيت المشغولات في مكنة تشغيل . أبعاد اللوحة هي 200×400 م . والحث الممغنط للمغنطيس الكهربائي المستخدم هو $0,18 \frac{وب}{م}$ ما هي القوة المطلوبة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$Q = \frac{F^2 \times J}{0,25}$$

حيث ج هي المساحة بالم^٢

$$٣ \quad \text{معطيات : } F = 0,18 \frac{وب}{م}$$

ج = الطول \times العرض

$$٢ \quad = 200 \times 400 = 80.000 \text{ م}^2$$

المطلوب : ق بالكيلو بوند (كب)

الحل :

$$Q = \frac{80.000 \times (0,18)^2}{0,25}$$

$$F = 78 \text{ كيلو بوند}$$

مثال ٢ : القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالى ٧٨ كيلو بوند

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة في خدمة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن
(أمير لفة) عندما تحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل
عند جهد ج = ٢٤ فلت ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل
بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{٢٤ \text{ فلت}}{\Omega \text{ ١٠٠٠}} = ت ، ت = ٠,٢٤ \text{ أمير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمير لفة}}{٠,٢٤ \text{ أمير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠ Ω
في الاعتبار .

ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .

الفصل العاشر

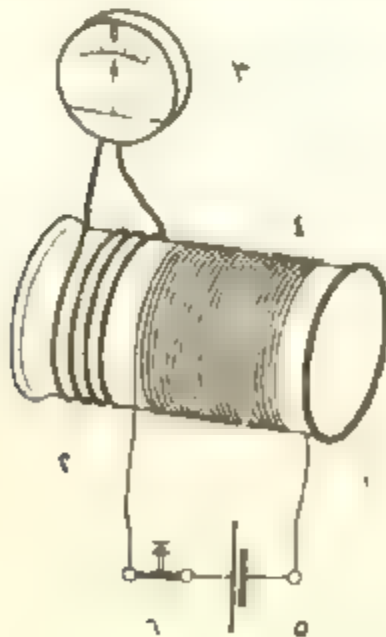
الحث المغنطيسى الكهربائى

١٠/١ - اختبار فاراداي :

أدت أبحاث فاراداي (١٧٩١ - ١٨٦٧) إلى الاستخدام العالمى الواسع الطوق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبيا دون أى فقد فى الزمن عمليا .

بنى فاراداي دراساته لظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكي ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل (١٢٣) الاختبار الذى أجراه فاراداي . ثلث لفيفتان منفصلتان كهربائيا ، جبا إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجه أى جانب من جوابه وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك ربيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائى بذراع .



شكل ١٢٣ :

- ١ - اسطوانة مجوفة .
- ٢ - ملف عليه عدد من اللفات .
- ٣ - جهاز لياس .
- ٤ - ملف عليه عدد كبير من اللفات .
- ٥ - مصدر للجهد .
- ٦ - مفتاح كهربائى بذراع (قاطع) .

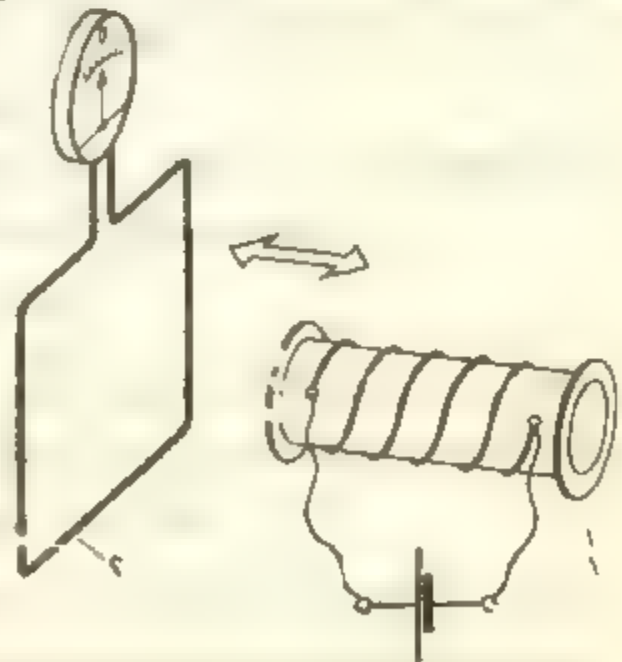
وهذا الشكل ، تشتمل ترتيبية الاختبار هذه على دقيقتين ، تحمل إحداهما تيارا يمر بصعة مستمرة فيها ، بينما لا تحمل الأخرى تيارا . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائي ، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس في الاتجاه عكسي لاتجاه انحرافه في الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلي :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائي لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مغلقة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

١٠ | ٢ - أشكال الحث المغناطيسي الكهربائي :

يبين الاختبار التالي ، المبين بالشكل (١٢٤) دراس أكثر عمقا لحث المغناطيسي الكهربائي . فإذا عدلت ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل (١٢٣) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد (بإخراج المفتاح الكهربائي من الدائرة الكهربائية) ، مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة ، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية . عند تقريب ملف للآخر (يمكن تحريك أى من الملفين) ، ينحرف مؤشر جهاز لقياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكسي لانحرافه في الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث في دائرة كهربائية أخرى .

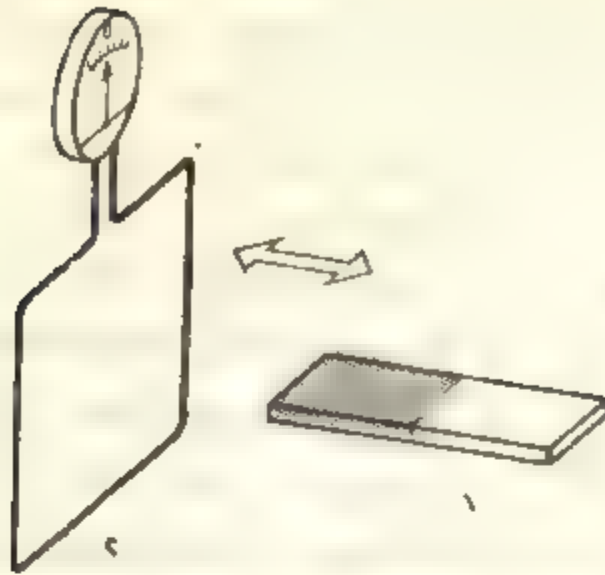
ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال في الاختبار الأول ، وذلك بتحريك للمعين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغناطيسي حول الملف الحامل لتيار كهربائي يؤدي إلى إنتاج تيار بالحث .



شكل ١٢٤ : الحث المغناطيسي الكهربائي في الملفات القابلة للحركة .

١ - ملف بمصدر الجهد (ملف ابتدائي) .

٢ - ملف بجهاز قياس (ملف ثانوي) .



شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي
النتائج بواسطة قضيب مغنطيسي
١ - قضيب مغنطيسي .
٢ - ملف بجهاز قياس .

وفي الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشي المجال المغنطيسي ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين المجال المغنطيسي . وفي هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية في تغيير الفيض المغنطيسي من قيمة الصفر إلى قيمة الدروة ، ثم رجوعا إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسي الكهربائي الناتج في الاختبار الثاني على هذه الأسس . نتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعبارة أخرى بعضها لبعض ، يتغير الفيض المغنطيسي بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوي (الملف الموصل بجهاز القياس) في الوصلة الأولى ، بينما تمر خطوط فيض أقل في الوصلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسي لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير في الملف التأثيري ، الشكل (١٢٥) . وفي الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيسي والملف تيارا بالحث في هذا الملف .

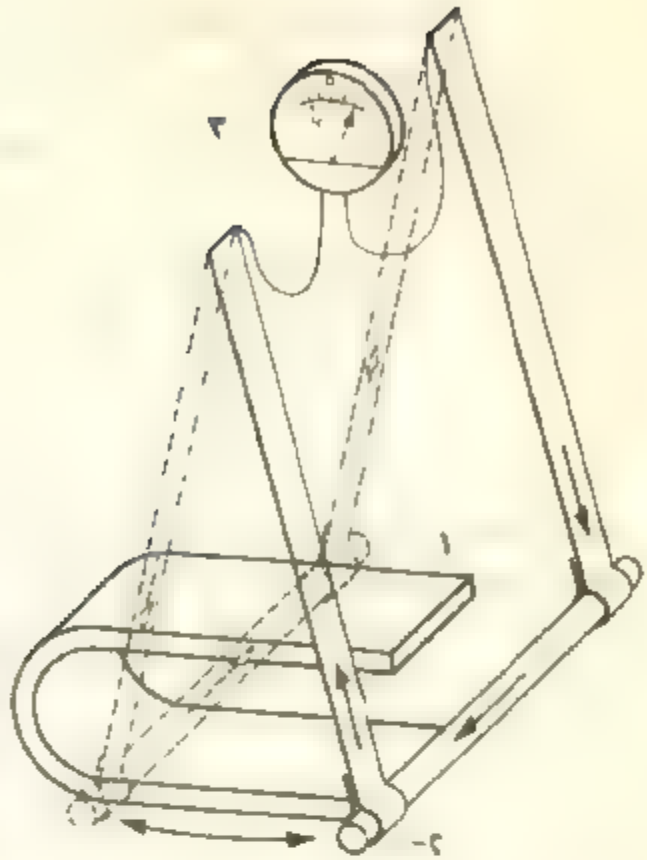
١٠/٣ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي :

شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي . وفيما يلي نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية لحث المغنطيسي الكهربائي .

(١) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات :

يبين الشكل (١٢٦) مثالا لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة في الشكل (١١٣) والشكل (١١٧) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أي جانب من جانبي التدرج ، وذلك بدلا من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل (١٢٦) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، معتمداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدود الحصان المغنطيسي . فتند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدود الحصان المغنطيسي ،



شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار
المنتج بالحث .
١ - مغناطيس على شكل حدوة حصان .
٢ - موصل قابل للحركة .
٣ - جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكس اتجاه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغناطيسي . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط الفيض لجال المغناطيسي ، واتجاه حركة الموصل (أو حركة المغناطيس) ، واتجاه التيار المنتج بالحث . ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلي :

عند احتراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث في الملفات لهذا الغرض (انظر الشكل ١٢٥) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغناطيسي كثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغناطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج في الملف ، عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغناطيس بعيداً عن الملف .

من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة (الشكل ١٢٨) :

عند النظر إلى فتحة الملف في اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث في اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط الفيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه في اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

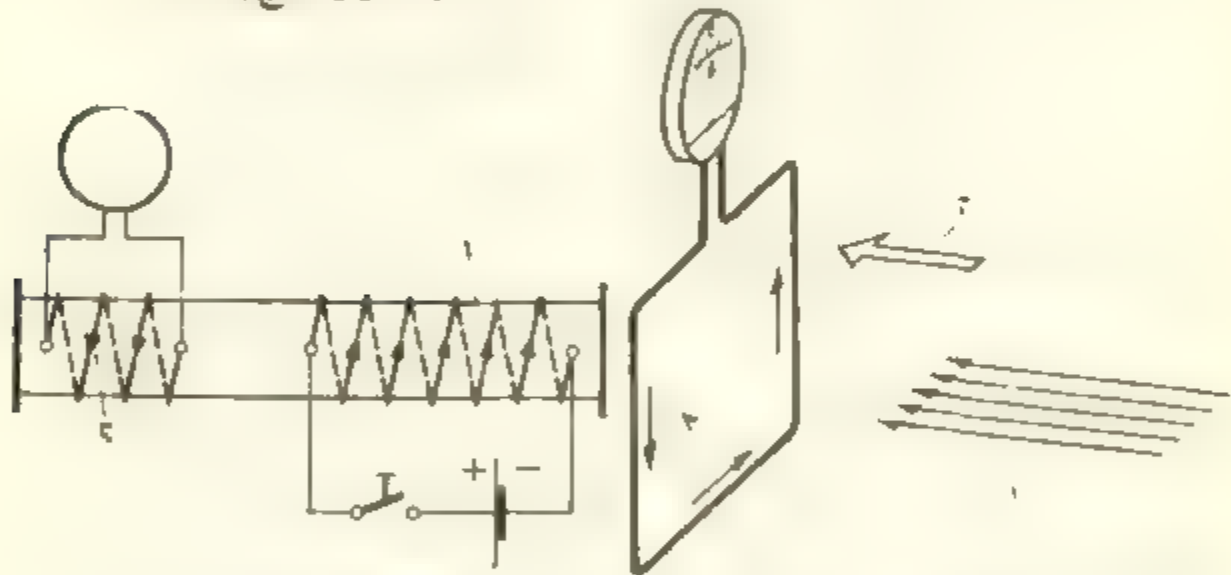
ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث في دائرة كهربائية ابتدائية ، عند فعلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

وعند الأخذ في الاعتبار قطبية ملف (سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة في التيار ، ثم ازدياد في شدة الفيض المغنطيسي . وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائي .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه حركة الموصل .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .



شكل ١٢٩ : اتجاه التيار المنتج بالحث عند لف الدائرة الكهربائية الابتدائية .

- ١ - اتجاه التيار في الملف الابتدائي .
- ٢ - اتجاه التيار المنتج بالحث في الملف الثانوي .

شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة عقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه الحركة .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .

(ب) الحث المغنطيسي للكهربائي من الوجهة النشيطية :

بعد مناقشة تأثيرات التيار الكهربائي (انظر القسم الأول ، الفصل الأول) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة . ولبيان هذه العلاقة نطلى الأمثلة التالية :

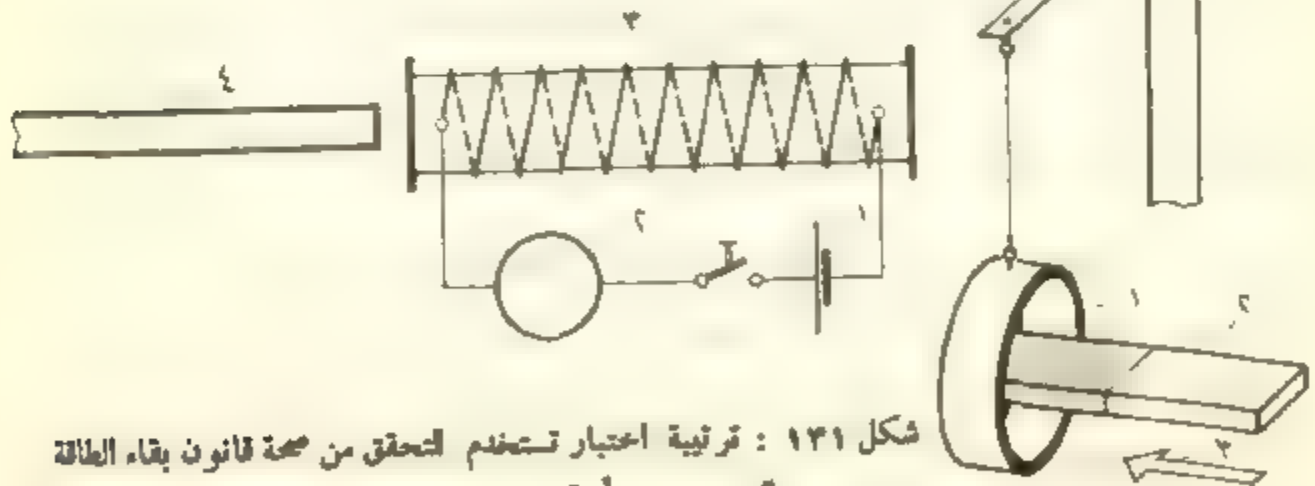
عند تعليق حلقة مغلقة من موصل (مصنوعة من سلك نحاس) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغناطيسي بطريقة مناسبة للحلقة . وللمظهر الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغناطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة في اتجاه حركة قضيب المغناطيس . وعند سحب قضيب المغناطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغناطيس (الشكل ١٣٠) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغناطيسي ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذي يصاد التغير في الفيض المغناطيسي ، المميز بحركة قضيب مغناطيس ، ينتج في نطاق حلقة الموصل .

ويمكن افتراض أن الحركة المتتامة لحلقة الموصل تكسب حركة قضيب المغناطيس (عند تحريك الحلقة وقصيب المغناطيس في نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغناطيس بالنسبة للحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة) . وفي مثل هذه الترتيبة ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير في الفيض المغناطيسي ، أي إذا أدى المجال المغناطيسي لتيار المنتج بالحث إلى تغير في الفيض المغناطيسي لقضيب المغناطيس ، فيمكن توليد أي كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مدنية صغيرة منها . وهذا لا يطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل (١٣١) بين ترتيب اختبار أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفي هذا الاختبار تقاس شدة التيار في وجود الحث المغناطيسي .

شكل ١٣٠ : الحث المغناطيسي الكهربائي وأهدافه التشغيلية

١ - حلقة الموصل . ٢ - قضيب مغناطيسي . ٣ - اتجاه الحركة .



شكل ١٣١ : ترتيب اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة

١ - مصدر للجهد . ٢ - أميتر . ٣ - ملف . ٤ - قضيب مغناطيسي .

يوضع قضيب مغناطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغناطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتي :

بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التعرّيف إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذي تتحول فيه الطاقة الكهربائية $\times M \times R$ إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً في هذه الحالة ، أن هناك شغلاً قد بذل مع التحاذب . فآين بذل هذا الشغل ؟

في الطبيعة وفي المفهوم المادي ، لا يبذل الشغل دون مكافئ . ومن هذا ينتج أنه في اللحظة التي يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تنخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوي هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف M ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التحاذب ، تنخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لكي تتحول كمية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفي الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث في الملف أثناء صحبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائي في الملف مسبباً كبحته ، وبذلك تحفضه ، وذلك نتيجة لعكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر في اللحظة التي يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسي لينز $Lenz$ (١٨٠٤ - ١٨٦٥) العلاقات بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلي :

يضاد اتجاه التيار المتحيز بالحث دائماً بحركة أو الفيض المغنطيسي المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ - العلاقات بين المغنطيسية والكليات المنتجة بالحث :

من الترتيبية الميئة في الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتي :

عند تحريك الموصل في اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يعمل الموصل زاوية مقدارها 90° مع خطوط الفيض ، ويتحرك في نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة في نطاق المجال المغنطيسي ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل في نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفي الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل في نطاق المجال المغنطيسي ذي الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطية أو الجهد الكهربائي (الفصل الثالث) ، ذكرنا أن الفلطية تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطلق هذا بالمثل بآنفسبة لحث المغنطيسي الكهربائي ، حيث تزود الإلكترونات الحرة بالحركة في الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فاراداي هذه الظاهرة في قانون الحث كما يلي :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية في موصل ، بتغير الفيض المغنطيسي المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسي المدكوك في القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :

تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسي مساوية و بر واحد . إذا أنتج بالحث جهدا قيمته قسط واحد في لفيفة حوله ، ويناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ، وعندما ترمز للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز ج ١ ، يمكن وضع العلاقة التالية :

في فترة صغيرة من الزمن Δ ر (دلتا ر) ، يفتج لتغير $\Phi \Delta$ في الفيض المغنطيسي المحيط بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية ج ١ فيها ، وعليه :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta} = \text{ج ١}$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسي Φ ، تطبق العلاقة التالية :

$$\text{ج ١} = \frac{\Phi \Delta}{\Delta} \times \text{ن}$$

حيث ن هي عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث لمغنطيسي ف م ، وطول الموصل الفعال (ل) والسرعة (ع) ، وهي :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta} = \text{ف م} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

يعني هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوي حاصل ضرب الحث المغنطيسي وطول الموصل والسرعة التي يتحرك بها الموصل في المجال المغنطيسي . وعلى هذا ، فن العلاقاتين السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$\text{ج ١} = \text{ف م} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائي لطائرة نفثة هو ٣ متر وكانت الطائرة تتحرك عمودياً على خطوط الفيض المجال المغنطيسي للأرض الذي حثه المغنطيسي ف م = 1.1×10^{-5} فل ث ، وبسرعة ١٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، ف القوة الدافعة الكهربائية ج ١ المنتجة بالحث في هذا الهوائي ؟ (الشكل ١٣٢)

$$\begin{aligned} \text{المعطيات : ف م} &= 1.1 \times 10^{-5} \text{ فل ث} \\ \text{ل} &= 30 \text{ متر} \end{aligned}$$

$$ع = ١,٠٨٠ \text{ كيلومتر/ساعة}$$

$$ع = ٣٠٠ \text{ متر في الثانية}$$

المطلوب : ج ١

الحل .

$$ج ١ = ف \times ل \times ع$$

$$= ٤,١ \times ١٠^{-٥} \times ٣٠ \times ٣٠٠$$

$$= ٣٦٠ \text{ مل فلت} \quad = ٣٦٠ \text{ مل فلت}$$

بقوة اندافمة الكهربية المتجهة باحث في الهواء هي ٣٦٠ مل فلت

وإذا كان الموصل مكوناً من عدة لعات ، تستخدم العلاقة التالية

$$ج ١ = ف \times ل \times ع \times ن$$

مثال :

مولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسي

للمجال المغنطيسي لحدين القطبين هو ١,٢ $\frac{\text{مل ث}}{\text{م}}$ يعمل في هذا المجال عضو إنتاج له ١٠٠ لفة

بسرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية ج ١ للنتجة في هذا المولد ؟

$$\text{المعطيات : } ف = ١,٢ \frac{\text{مل ث}}{\text{م}}$$

$$ل = ٢٥ \text{ سم}$$

$$\text{ض} = ٣٠ \text{ سم}$$

$$ع = ٩٦٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

$$ن = ١٠٠ \text{ لفة}$$

المطلوب : ج ١

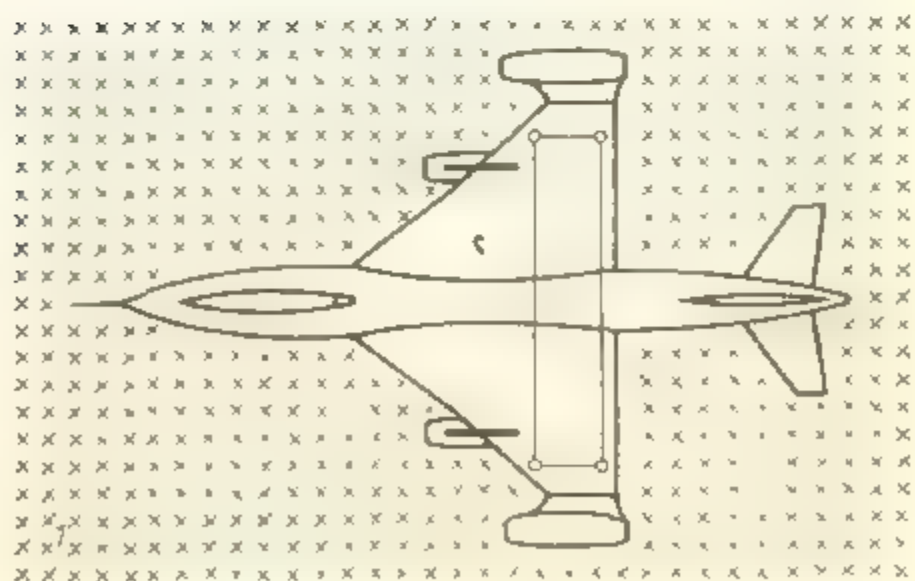
شكل ١٣٢
حث لفافية (ج)

في هوائي
١ - المجال المغنطيسي

للأرض .

٢ - الطول الفعالي

للموصل .



الحل :

عدد سرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة ، يمر الصول الفعال لموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مرة كل ثانية ، ومن هذا ينتج أن السرعة

$$ع = ٢ \times ٩٦ \times ٠,٣٠ \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}} \text{ وعلى ذلك :}$$

$$ج = ف \times ل \times ح \times ن .$$

$$= ١,٢ \times ٠,٢٥ \times ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \times ١٠٠$$

$$= ٢٨٨ \text{ فلت}$$

ينتج بالحث في هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتها ٢٨٨ فلت .

١٠/٥ - الحث الذاتي :

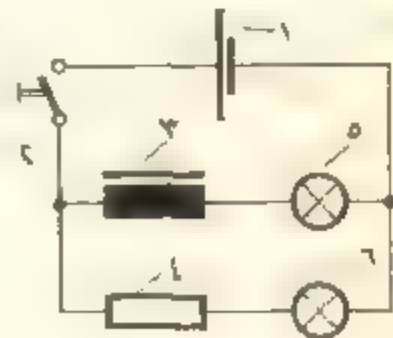
تبر ترتيب الاختبار المبينة في الشكل (١٣٣) كيفية تصرف ملف بقلب حديد في دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليها ويفصل عنها وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة في الدائرة الكهربائية متساوية . فبعد تشغيل هذه الترتيبة ، يومض المصباح المتوهج الموصول على التوالي مع الملف متأخراً بمس الوقت عن المصباح المتوهج الموصول على التوالي مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة اسكهربائية (وهذا يعني أيضاً ازدياد شدة المجال المغناطيسي للملف) وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أي إذا لم يتغير الفيض المغناطيسي مرة ثانية ، ينبغي هذا الحث . ويسمى الحث المعطى بالكهربائي المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية في الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتي » .

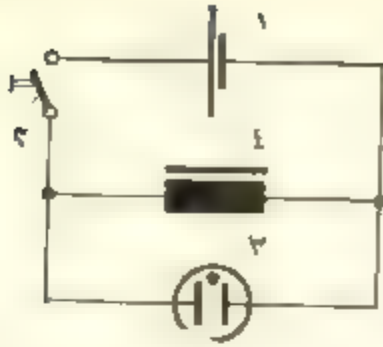
ويمكن ملاحظة الحث الذاتي المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصل دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيبية كما هو مبين بالشكل (١٣٤) .

شكل ١٣٣

تصريفات ملفات بقلوب حديد في دائرة كهربائية

١ - مصدر الجهد .	٤ - مقاومة أومية .
٢ - مفتاح كهربائي .	٥ - مصباح ١
٣ - ملف بقلب حديد .	٦ - مصباح ٢





شكل ١٣٤ : تصرف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .

- ١ - مصدر الجهد (حوالي ٢ فولت) .
- ٢ - مفتاح كهربائي .
- ٣ - مصباح كهربائي يقص جهده ح = ١١٠ فولت .
- ٤ - ملف بقلب حديد (حوالي ١٥٠٠ بقعة)

عندما تشع هذه الترتيبية ، لا يمكن ملاحظة أى شيء من الخارج ، وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائي في هذه الدائرة الكهربائية . وهذا الفرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة معطيشية . بعد قصر هذه الدائرة الكهربائية ، يومض المصباح استوهج للحظة ، وهذا يعني أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقص . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلي :

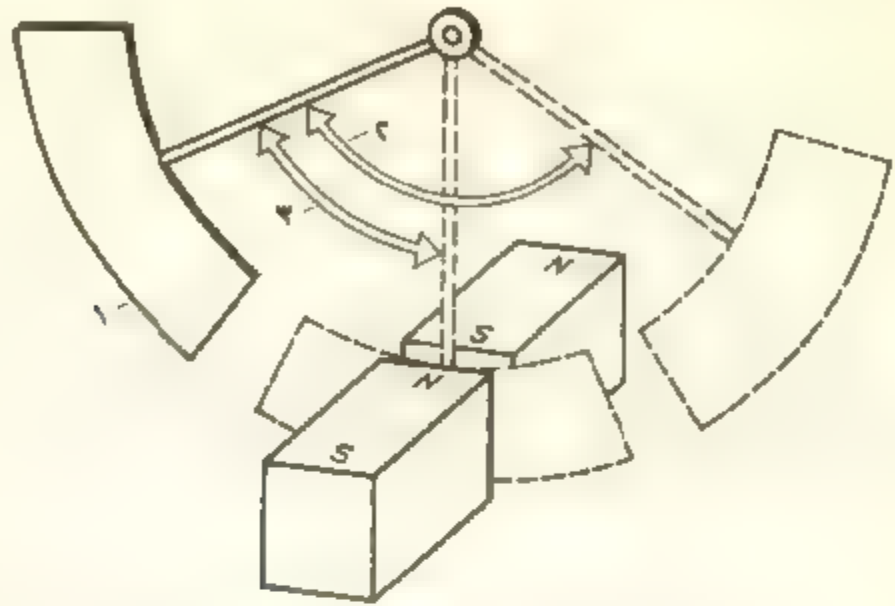
عند فصل دائرة الكهربائية ، يعطل معمول المجال المغناطيسي للملف ، وعند الأخذ في الاعتبار التيار المتحيز بالحث ابدائي ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية لمسة له ، تدر من تغيراً في الاتجاه الذي أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية لصانقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون به الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التي لها محاطة ، وملفات المحاطة . ولتصرف هذه الملفات أهمية في دوائر التيار المتردد ذات التردد العالي والمخفض ، وسيتقش ذلك فيما بعد .

١٠/٦ - الحث المتطبيقي الكهربائي في الموصلات المعلقة :

فيما سبق تناولنا بالبحث الحث المتطبيقي الكهربائي في الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المعلقة بالنسبة لحث المتطبيقي الكهربائي أهمية لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهدمة الكهربائي . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث في حلقات موصلات مغلقة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التي تتعحر حركة قضيب المتطبيس) . وبين الشكل (١٣٥) مثلاً لاختدر يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المعلقة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمح له بالتأرجح . وحركة السندول هذه لتي يحدث قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوايس التذبذبات التوافقية . فهذا تأرجح هذا السندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال معطبيس ، فرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .

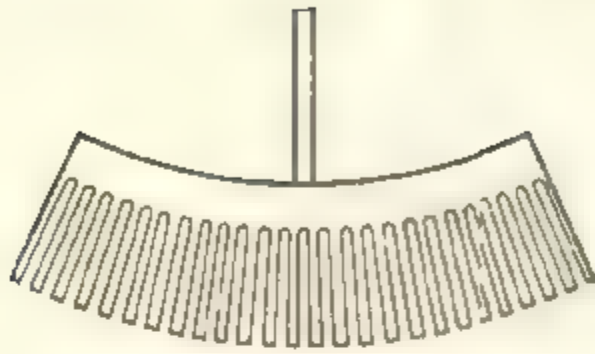
وسبب توقف التدبذبات سريعاً عندما يدخل السنول المجال المغناطيسى ، هو ظهور تيارات متتجة بالحث ، تكون مجالاتها المغناطيسية موجهة بطريقة تمنع هذه الحركة ، وعلى ذلك فهي تتبع قانون لينز .



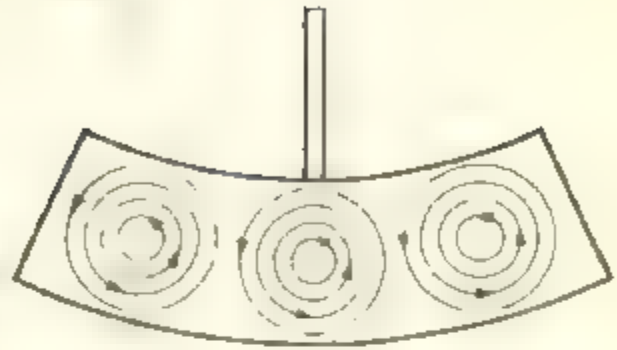
شكل ١٣٥ : الحث المغناطيسى الكهربائى فى أنواع الموصل .
 ١ - بندول من الألومنيوم .
 ٢ - تدبذبات فى الهواء الطلق
 ٣ - تدبذبات خلال مجال مغناطيسى .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار فى الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه المسارات تكون مغلقة . وتسمى التيارات المتتجة بالحث فى الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية » .
 وحيث أن لتيارات مسارات مغلقة فإن هذه التيارات تولد كمية لا بأس بها من الحرارة فى الموصل . وفى حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيها فى المكثفات والأجهزة الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية فى الموصلات المفلطحة ، وذلك بتزويد الموصلات بمشقيات لطيفة .

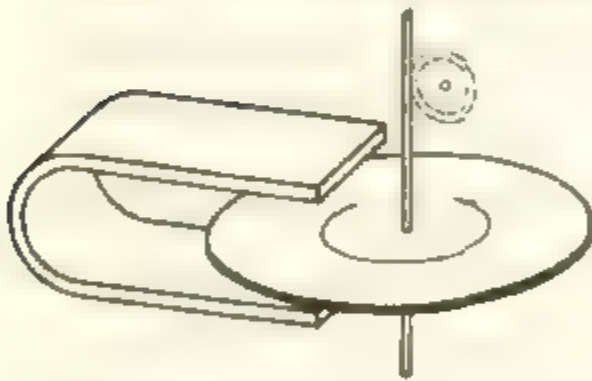
وعندما يسمح لهذا الموصل المشقوب بالتأرجح خلال مجال مغناطيسى ، يتوقف الموصل بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالي تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .
 على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح ذى سمك معين فيمكن وضع عدة موصلات رفيعة ممزوجة فوق بعضها البعض لتكون موصلا بالسمك المعين المطلوب .



شكل ١٣٧ : لوح موصل مشقوب



شكل ١٣٦ : مرور تيار في ألواح الموصل



شكل ١٣٨ : مضادة تيار دواى
تستخدم في عداد كهربائى

تلمب هاتان الإمكانيتان لمضادة التيارات الفوامية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية .
في المكونات الثابتة والنوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقية الدينامو »
التي تعرف أيضاً « كرفقة قلب » ، هي عبارة عن معدن معطى طرى ، يعزل من حذائيب واحد ،
بطرق كيميائية كهربائية (وأحياناً نقبطينها بالورق)

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامة للمضادة ، خصوصاً في تقنيات
الاختبار والقياس ، وتعتبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل
التيار الدواى ، وبين الشكل (١٣٨) ترتيبية لمضادة تيار دواى تستخدم في عداد كهربائى .

الفصل الحادى عشر

تأثيرات المجالات الكهربائية

١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

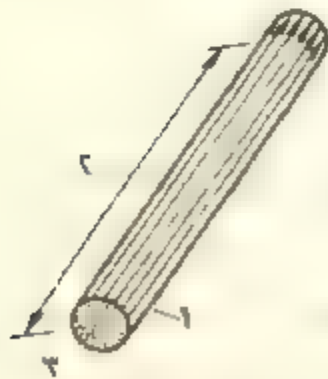
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهي قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد في شرحنا ، نفترض وجود طاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الطاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية في الموصلات وفي غير الموصلات .

المجال المتدفق المتجانس في موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات في اتجاه معضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كب هو مبين بالشكل (١٣٩) . وعادة يسمى الحيز الذى تحدث في نطقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية في موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، في هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، واتى عبر عنها في الشكل ، بخطوط متقطعة ، تميزها عن الخطوط المغنطيسية لفريض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى لـ منه . ونسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ϵ ، وعليه فإن :

$$\epsilon = \frac{G}{L}$$



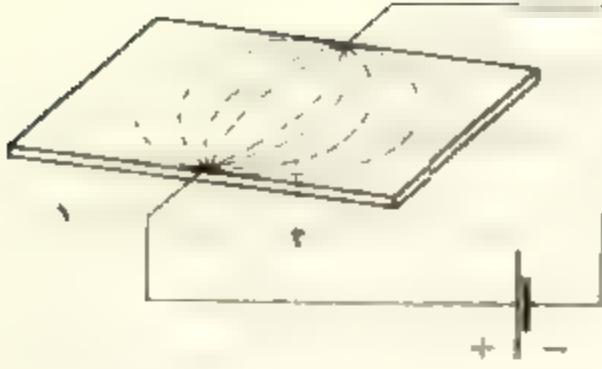
شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق في موصل

من الطراز المستقيم .

١ - موصل .

٢ - طول من الموصل .

٣ - خطوط المجال الكهربائى .



شكل ١٤٠

شكل المجال في موصل من الطراز اللوح

١ - موصل من الطراز اللوح .

٢ - مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس في موصل :

عندما يسرى تيار كهربائي خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التي تتخذها الإلكترونات ، وباتلى مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين في الشكل (١٤٠) .

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدني في هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمصدر الذي تتحلل خطوط القوة ، يمكن النص على ما يلي :

تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة للسير كل على حدة في المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلي :

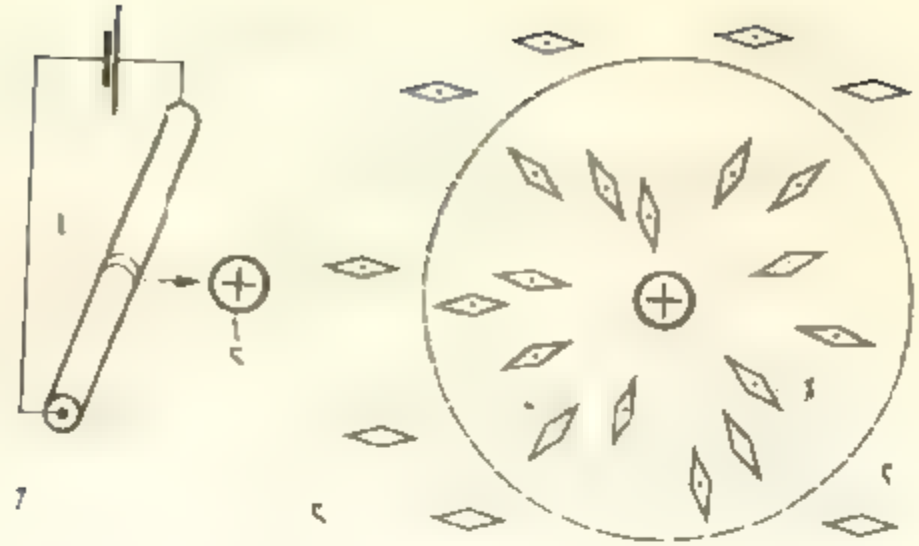
تزدل قوة شد في اتجاه خطوط القوة ، بينما تزدل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

١١/٢ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة في الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائي . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أعمال قوة مشابهة لتلك التي تصاحب الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، والتي يمكن استنباطها بواسطة الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائي) . ويجب إيجاد أطراف توصيل الإلكتروسكوب من بعضهما البعض خلال شحنته ، لتجنب فعل القوة .

(١) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل :

يبين الشكل (١٤١ - ١) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع ، بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها تتجه تجاه الموصل في حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل (الشكل ١٤١ - ٢) .



شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائي في غير موصل

(١) (٢)

- ١ - دائرة .
٢ - مقطع مستدير من الموصل .
١ - قصاصات من الورق ينضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة .
٢ - قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائي .

وتتجه قطع الورق الصغيرة التي لم تتجه في بادئ الأمر في هذا الاتجاه المفضل ، تنجاء الموصل عندما يسمح بمرور تيار كهربائي فيه . وتكون قصاصات الورق التي لا تتجه في هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التي يبدؤها المجال الكهربائي حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز مقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستوي لمجال كهربائي (الشكل ١٤٢) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائي .

ويقال لمجال كهربائي أنه موجود في نقطة ما ، إذا بدلت قوة من أصل كهربائي على أي جسم مشحون موضوع في هذه النقطة .

قانون كولوم :

إذا أجرى اختبار معمل بسيط ، لتأكد من وجود قوة يبدؤها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن هذه القوة قيمة أعلى ، عند أي نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائي ، من قيمتها عند أي نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم (١٧٣٦ - ١٨٠٦) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف في أيامنا هذه بقانون كولوم .

إذا قيل مثلاً ، أن قوة مقدارها ١٠٠ ملي باوند موجودة في نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائي ، فإذا قوة مقدارها ٢٥ ملي باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،

وقوة مقدارها ١,١ ملي باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر ومن ذلك نحصل على الجدول التالي :

المسافة في باسنتيمتر	القوة في دالتي دوند
٢	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائي حول موصل مستدير

ويبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{4}$ (ربع) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{9}$ (تسع) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العمية ، استنتاج الصيغة التالية :

لحصول على قوة المجال الكهربائي ، تصرف القوة في مربع المسافة .

$$\text{أي أن : } Q \times F = \frac{Q^2}{r^2}$$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلي :

$$\begin{aligned} 100 &= 22 \times 100 = 2 \times 2 \times 100 = 4 \times 100 = 400 \\ 25 &= 24 \times 25 = 4 \times 4 \times 25 = 16 \times 25 = 400 \\ 11,1 &= 26 \times 11,1 = 6 \times 6 \times 11,1 = 36 \times 11,1 = 400 \end{aligned}$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

تناقص القوة لفعالة لمجال كهربائي بمقدار مربع المسافة .

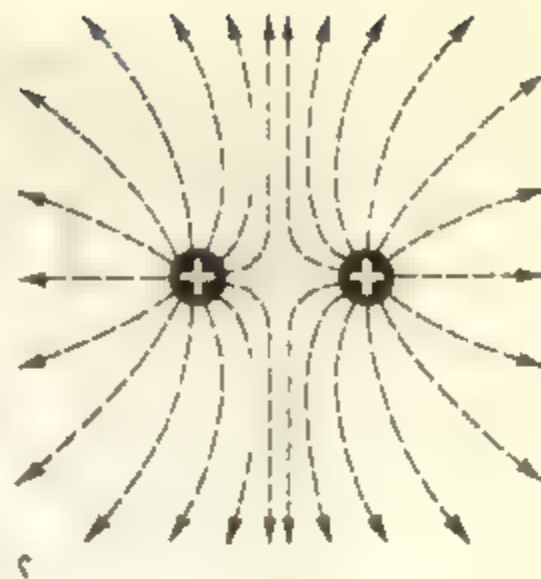
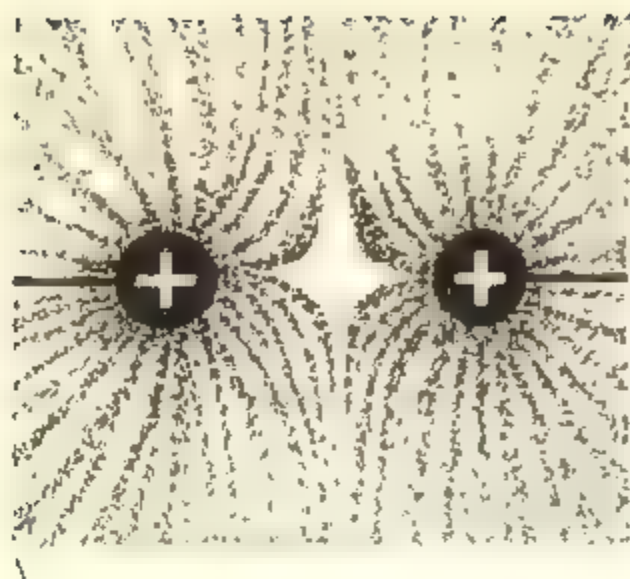
(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

لحصول على تشكيل لمجال كهربائي ، توضع موصلات ذات أشكال مختلفة في طبقة رقيقة من الزيت المغطى بحبيبات « الصميد » semolina . فتمد سريان التيار الكهربائي في هذا الموصل ، تترتب هذه الحبيبات في اتجاه خطوط القوة ، وتعطي بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التمييز بسهولة بين تشكيلين أساسيين للمجالات الكهربائية :

مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

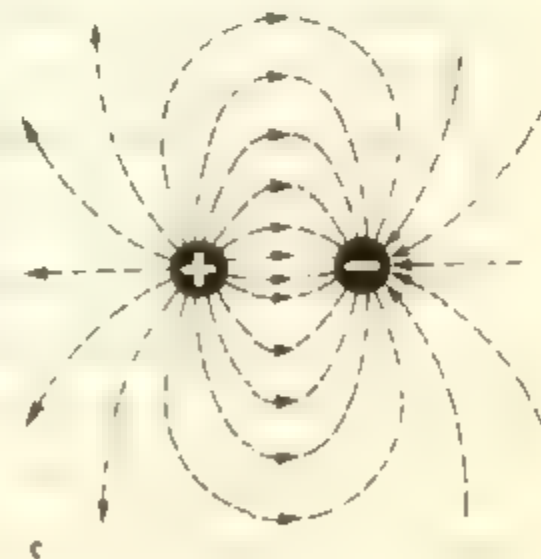
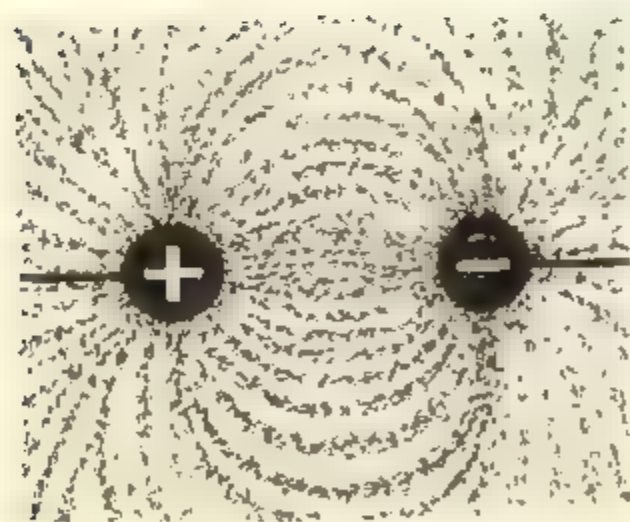
ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين هريطين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبة « المكثف الكهربائي » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما في الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .



شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

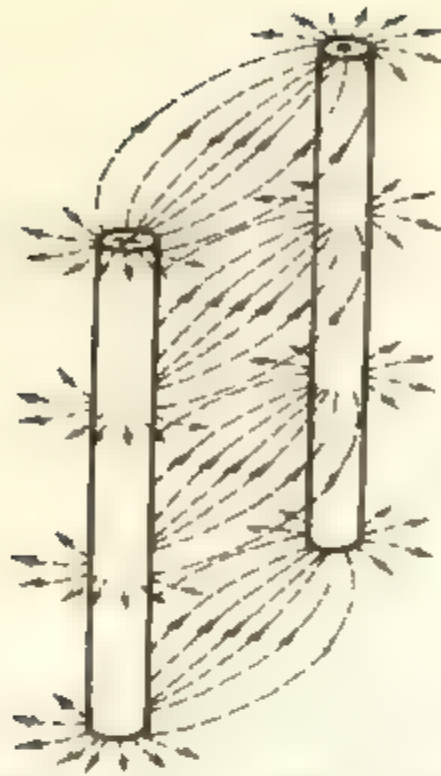
٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٤ : تشكيلات مجالات كهربائية حول مقطعي موصل مختلفي القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٥ : تشكيل مجال كهربائي
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

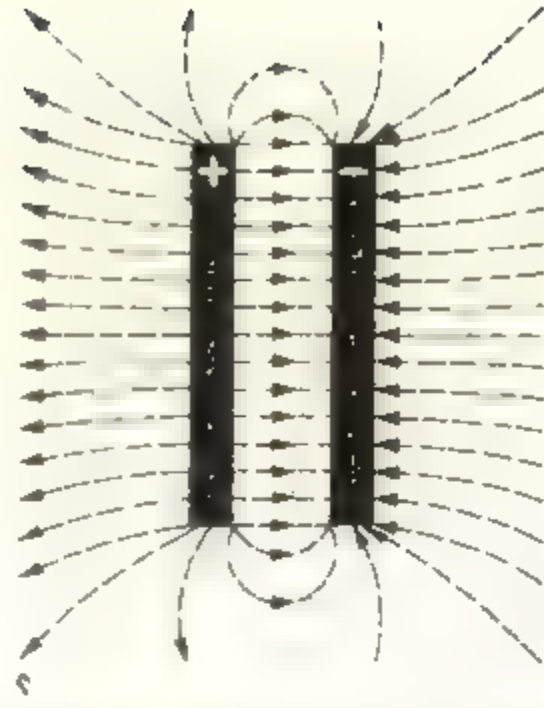
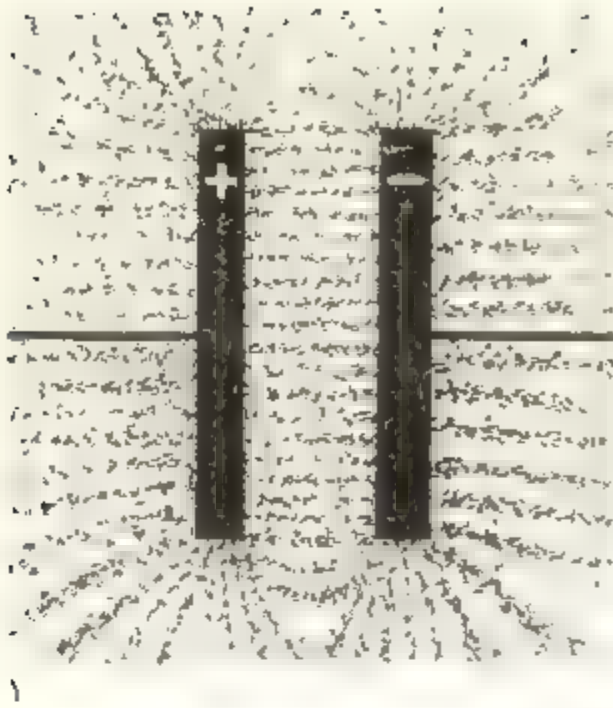
٣/١١ - كميات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

(١) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل :

يمكن مل" الحيز الذي يوجد فيه مجال كهربائي متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائي العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة في الحياة العملية « المواد العازلة » ، أي المواد التي لا توصل التيار الكهربائي (القسم الأول - الفصل السادس) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائي في الوسط الكهربائي العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى في المجال الكهربائي ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث في هذا المجال . ويبين الشكل (٤٧) ترتيب اختبار ، تستخدم المساعدة في تبين الظواهر الكهربائية التي تحدث في حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

فبعد تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف هابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التنفيذ عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بملوحي مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائي خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .

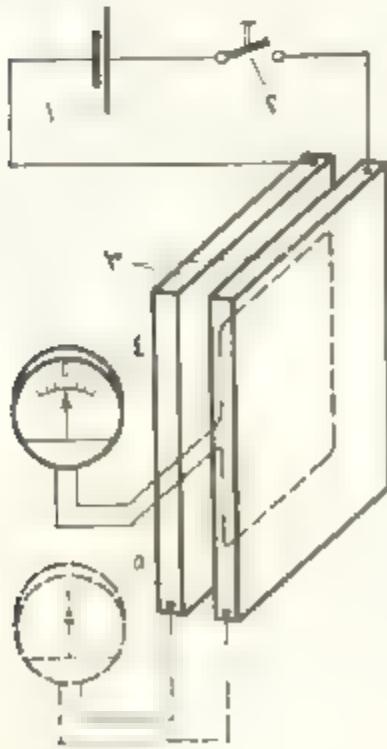


شكل ١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائي بين لوحين متعدين

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .

وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه ، فقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ، فتفسر الظاهرة التي حدثت كما يلي :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث في

مجال متجانس

١ - مصدر الجهد .

٢ - مفتاح كهربائي .

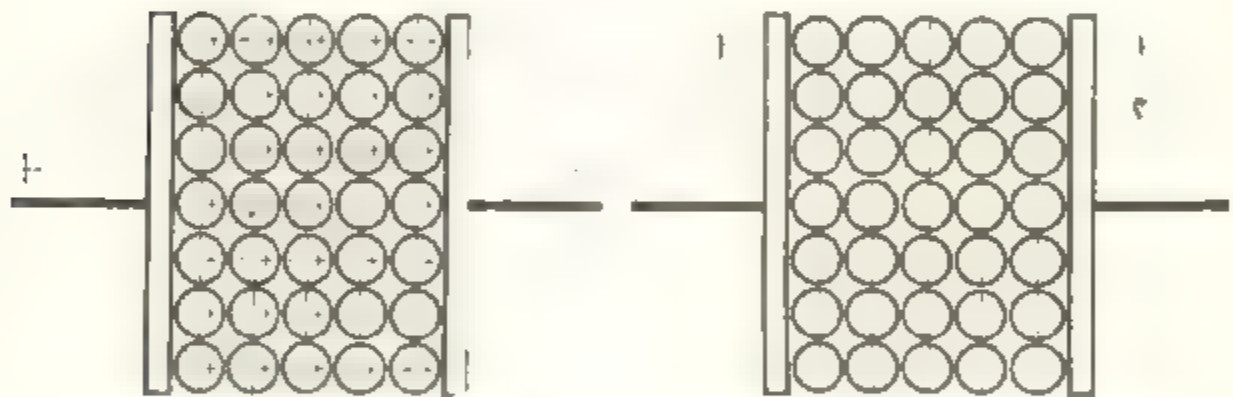
٣ - ألواح المواسع .

٤ - حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .

٥ - جهاز القياس الموصل بالألواح المواسع .

إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المين في القسم الأول - الفصل الثاني ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، مثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزيء » . فمثلا جزيء ماء يتكون من ذرتين هيدروجين (يد) ، وذرة أكسجين (أ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز (يدأ) . وفي حالة التعادل الكهربائي للوسط الكهربائي العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة في جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها (الشكل ١٤٨) .

وعندما يسلط جهد على ألواح المواسع ، تنصبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانصباط أو الإزاحة للشحنات على الجزيئات « استقطاب الوسط الكهربائي العازل » (الشكل ١٤٩) . ويكون اتجاه الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تصاد الشحنة الموجبة لجزيء لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ، فإنه يتكون مجال كهربائي . وبتمثيل آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائي العازل » .



شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائي العازل

شكل ١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين

لوحى مواسع

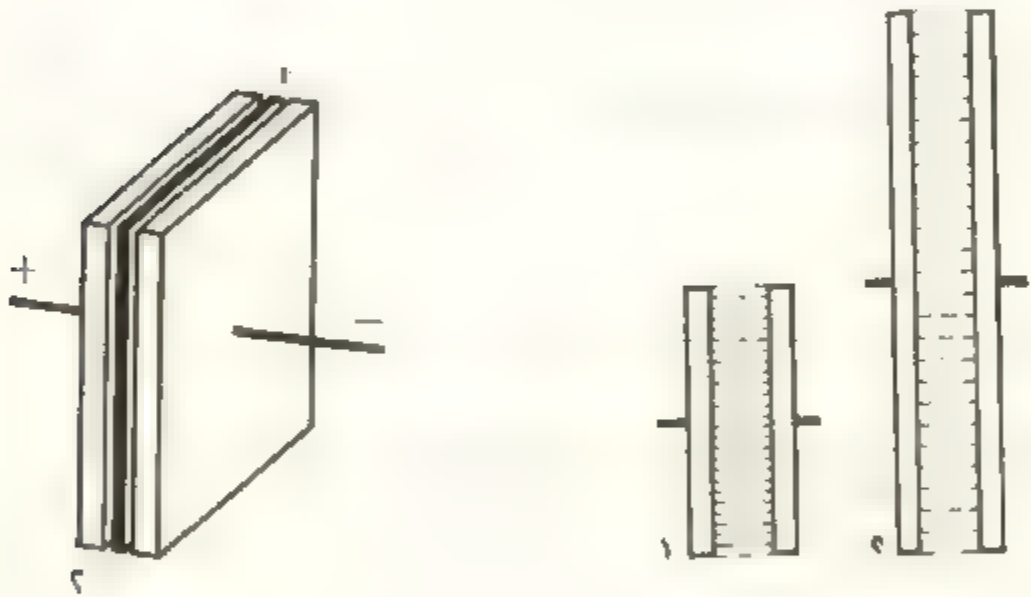
١ - لوحا مواسع . ٢ - جزيئات .

(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

تعمل ألواح المواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء لـ (القسم الأول - الفصل الرابع) . وتتوقف شدة المجال الكهربائي المتجانس ، التي يمكن بيانها بتباعد خطوط القوة ، على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المين في الشكل (١٥٠) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء (والتي اصطلح عليها كشحنة) تكون هي نفسها في كلا المواسعين كما هو مبين في هذا الشكل ، أى أن

ك_١ = ك_٢ ، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها لبعض ، أى أن $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$. وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهنا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القصة $\frac{K}{\epsilon}$. وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنوع الطريقة ، كما هو مبين بالشكل (١٥١) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح = مساوية لمساحة المواسع = ، تكون قيمة الكثافة من خارج القصة $\frac{K}{\epsilon}$ مساوية لقيمتها من خارج القصة $\frac{K}{\epsilon}$. ويسمى خارج القصة هذا « كثافة الإزاحة الكهربائية » ويرمز لها بالرمز ك_١ ، لى :

$$K_1 = \frac{K}{\epsilon} = \frac{K}{\epsilon}$$



شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة

١ - مواسع بلوحيين صغيرين .

٢ - مواسع بلوحيين كبيرين .

شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة

١ - لوحا مواسع .

٢ - ألواح معدن مستطعة ذات كثافة $\frac{K}{\epsilon}$

ويسمى خارج القصة $\frac{K}{\epsilon}$ « كثافة الشحنة للمواسع » ويرمز لها بالرمز ك_١ أيضا

ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كمية الكهرباء (الشحنة) ، معبرا عنها بالأمبير ثانية (سم . ث) ، والمساحة معبرا عنها بالنتيتر المربع (سم^٢) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هي : $\frac{\text{سم. ث}}{\text{سم}^2}$

(ج) معامل الوسط الكهربائي العازل :

للوصول على استقطاب ، وبالتالي على مجال متجانس ، نلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائي العازل المستخدم في المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هي خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائي العازل ، الذي يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائي العازل » ϵ . وبدراسة الاستقطاب في الفراغ وجد أن « ثابت التأثير » ϵ_0 يساوي $10^{-12} \times 10^{-9}$ $\frac{\text{سم. ث}}{\text{سم}}$

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التي تحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي » ϵ_r نسبي . ومعامل الوسط الكهربائي العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير في ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ، أي :

$$\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ϵ_r نسبي	الوسط الكهربائي العازل
١	كوارتز
٧	ميكا
٤	مطاط
٢,٧	بونا (Buna)
٦,٥ - ٥,٥	صقي صلد (مصقول)
٦,٥ - ٥,٥	أستيتيت
٣ - ١٠	زجاج
٢,٥ - ٤	ورق مشرب بالبرافين

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي	الوسط الكهربائي العازل
٢ - ١	ورق مضغوط
٢ - ٢,٥	زيت محولات
١	فصراخ
١,٠٠٠٦	هواء
٨٠	ماء مقطر عند ٢٠ م°
	مواد فخارية خاصة :
٦ - ٧	كالكيت (Calit)
٣٠ - ٥٠	كوندنسان تمبا (Condensan Tempa)
٤٠٠٠ - ٧٠٠٠	إبسيلان (Epsilon)
	لدائن (بلاستيك) :
٢,٤	استيروفلكس (Styroflex)
٢,٨ - ٣,٤	كلوريد عديد الفيليل
٢,٩	بكاليت

(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائي العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة $\frac{ق}{م}$ لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائي النسبي ع نسبي . ولذلك أهمية في تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هي ش = $\frac{ج}{ل}$ معبرا عنها $\frac{ق}{م}$ ، وثابت الوسط الكهربائي

العازل هو ع = ع نسبي معبرا عنه $\frac{مب . ث}{ق \times م}$ ، فبضرب ش × ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{ق}{م} \times \frac{مب . ث}{ق \times م} ، \text{ أي نحصل على } \frac{مب . ث}{م}$$

هذه الوحدة هي نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

$$١ - ك ش = \frac{ق}{م} \quad (\text{نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة}) .$$

٢ - $K_{ش} = C \times ش$ (حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائي العازل لمواسع في الشدة الكهربائية للوسط) .

(٥) المواسعات :

$$من K_{ش} = \frac{K}{ش} ، K_{ش} = C \times ش = C \times \frac{ج}{ل}$$

$$ينتج أن $\frac{K}{ش} = C \times \frac{ج}{ل}$$$

« عند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة K :

$$K = C \times \frac{ج}{ل} \times ش$$

وفي هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو في مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ - مساحة الوح $ش$

٢ - المسافة بين الألواح $ل$

٣ - نوع الوسط الكهربائي العازل مع ثابت الوسط الكهربائي العازل $ع$.

وتؤخذ هذه الكميات في الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلي :

$$K = ش \times \left[\frac{ع}{ل} \times ش \right]$$

والتمثيل الموجود بداخل المصطلح $\frac{ع}{ل} \times ش$ ، لموسع من النوع المبين أعلاه ، هو ثابت

يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لها بالرمز $س$ ، وهي مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقياس أنواع المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ،

مع افتراض أن الوسط الكهربائي العازل يكون ثابتا ، وعليه فإن :

$$K = س \times ج ، س = \frac{K}{ج}$$

بالتمق في دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم

مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائي

عازل ذي متانة كهربائية عازلة عالية ، (انظر القسم الأول - الفصل السادس) ، وباستخدام

رقائق رفيعة من المثلث على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسة هي $\frac{\text{مب. ث}}{\text{فل}}$ ، وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزى فارادى.
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية ويفضل عملياً استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

$$١ \text{ ميكروفاراد (ف) } = ١٠^{-٦} \text{ ف}$$

$$١ \text{ نانوفاراد (نف) } = ١٠^{-٩} \text{ ف}$$

$$١ \text{ بيكوفاراد (بف) } = ١٠^{-١٢} \text{ ف}$$

المواسة س هي نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو المعطية ج بين الموصلات، وعلى ذلك :

$$س = \frac{ك}{ج}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثال :

مواسع مقاس لوحه ٦ سم \times ٨ سم . استخدمت به ميكاسيت ١ مم كوسط كهربائى عازل .
فما مواسة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح ٦ سم \times ٨ سم

المسافة بين الألواح ل = ١ مم

ثابت الوسط الكهربائى النسبى لميكاسيت ع نسبى = ٧

المطلوب : المواسة س

الحل :

$$س = ٥٤ \times ٥٤ \times ع \times \frac{٢}{ل}$$

$$= ٨ \times ٦ \times ٢ = ٩٦ \text{ سم}^٢ ، وعلى ذلك فانه ،$$

$$س = ٠,٨٨٦ \times ١٠^{-١٢} \times ٧ \times \frac{٩٦}{٠,٠١}$$

$$= ٠,٩٥,٤ \times ١٠^{-١٢} = ٠,٩٥,٤ \text{ بيكونفاراد}$$

هذا المواسع له مواسة قيمتها ٠,٩٥,٤ بيكونفاراد .

مثال :

سلط جهد ١٥٠٠٠ فلت على مواسع له وسط كهربائى عازل من الورق المضغوط سمكه ٢ مم .
فما الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهد ج = ١٥٠٠٠ فلت

المسافة بين الألواح ل = ٢ مم

المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠,٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلت/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هي ٧٥٠٠٠ فلت/سم .

مثال :

سطح جهد ٢٢٠ فلت على مواسع ذي مساحة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد فما الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسعة = ١٦ ميكرو فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلت

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحل :

$$ك = س \times ج$$

$$= ١٦ \times ١٠^{-٦} \times ٢٢٠$$

$$= ٣,٥٢ \times ١٠^{-٣} \text{ م.ب.ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هي ٣,٥٢ $\times ١٠^{-٣}$ أمبير ثانية .

(ز) لقد العزل لمواسع :

إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي لمطلق (انظر القسم الثاني - الفصل الثالث) ، تقترب الألواح من بعضها البعض ، وفي نفس الوقت يتكون مجال كهربائي متجانس بينهما . ونشبه هذه الترتيبية ، ترتيبية مواسع . فإذا كانت هذه الترتيبية غير مفرغة (مثلاً ، عن طريق القياس) فإن الألواح لا تقل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائي العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهربائي العازل عالية جداً ، مع أنه سيمر تيار صغير جداً . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذي يسبب اضمحلال المجال الكهربائي . وعدم يطل الجهد مسطراً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسط قدرة المواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لمقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفي مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائي العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائي العازل يسرى نتيجة لاستقطاب جزئيات هذا الوسط . وإذا سلط تيار متردد على المواسع ، يمر في الوسط الكهربائي العازل إلى انعكاس مستمر للقطبية .

ويمثل تيار الإزاحة الوسط الكهربائي العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة المواسع .
ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائي العازل » .

من هذا يتبين أن المواسعات التي تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التي تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائي العازل . ويظهر هذا الفقد في شكل حرارة تتولد في المواسع الذي يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيراً بقدر الإمكان . ومن البديهي ، أنه يجب اختيار عازل ذي جودة عالية . ويكون ثابت الزمن τ مقياساً لهذه الجودة .

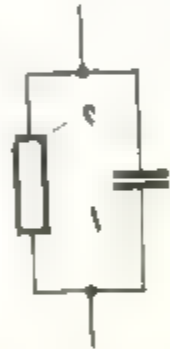
ولشرح ثابت الزمن τ ، نأخذ في الاعتبار مواسعاً (لا داعي لوصفه هنا) ويكون لمواسعته من ولمقاومة عزل وسطه الكهربائي العازل τ أهمية .

ونعرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .

نمثّل مقاومة العزل τ ، يمكن استخدام رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسعاً ليس له فقد ، موصل على التوازي مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل (الشكل ١٥٢) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢
رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع
١ - مواسع ليس له فقد ٢ - مقاومة لعزل



شكل ١٥٣ : ترتيب دائرة كهربائية لتعيين ثابت الزمن

- ١ - مصدر جهد .
- ٢ - مفتاح كهربائي بلواح .
- ٣ - فللمتر .
- ٤ - عينة اختبار (مواسع) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التي ليس لها فقد τ ومقاومة الفقد τ هو ثابت الزمن τ

$$\tau = \tau \times \tau .$$

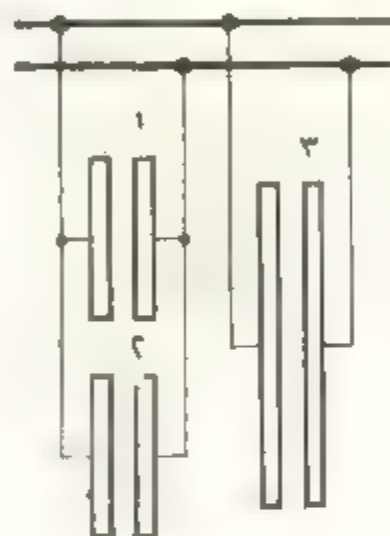
وكلما طالت الفترة التي يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . المواسع الذي ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن τ والجهد المسلط τ لمواسع . وثابت الزمن τ هو الوقت الذي يفرغ خلاله

مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازي للمواسع τ من جهد شحنة .

وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، وبمساعدة طرق بسيطة نسبياً، ويلزم لذلك مصدر جهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية، وقلعتر، وساعة، (الشكل ١٥٣). والعقد الذي يمارسه مواسع يميز بفقد عزل وبفقد وسط كهربائي عازل. وفي الحياة العملية يجري كل شيء في سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن ولا جدال في أن لجودة العزل للوسط الكهربائي العازل أثره على فقد المواسع. وثابت الزمن τ هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل.

١١/٤ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات :

وبما يتعلق بمناقشة الدوائر والشكيات الكهربائية البسيطة، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانات المختلفة لترتيب المقاومات في دائرة كهربائية. وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كمناصر دائرة كهربائية. ويشير الشرح التالى إلى ترتيب المواسعات في دوائر التيار المستمر.



شكل ١٥٤

المواسعات الموصلة على التوازي والشحنة عليها

١ - مواسع له مواسعة C_1 .

٢ - مواسع له مواسعة C_2 .

٣ - مواسع له مواسعة $C_3 = C_1 + C_2$.

(١) توصيل المواسعات على التوازي :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات، مواسعاتها C_1 ، C_2 ، C_3 ، سلط عليها نفس الجهد V . والمواسعين الموصلين على التوازي نفس نوع الوسط الكهربائي العازل ونفس الأبعاد الهندسية. وتساوى أبعادها الهندسية مع الأبعاد الهندسية للموسع الثالث. ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه في هذه الحالة :

$$C_3 = C_1 + C_2$$

علاوة على ذلك، فإنه يمكن استخدام المعادلة الآتية في هذه الحالة :

$$C_3 \times V = C_1 \times V + C_2 \times V$$

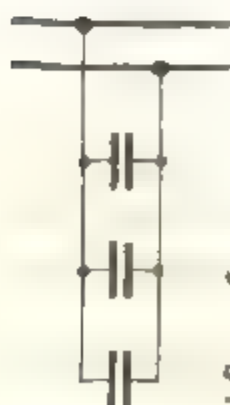
يبين الشكل (١٥٥)، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي، مواسعاتها

C_1 ، C_2 ، C_3 . يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبات من

$$C_{\text{إجمالية}} = C_1 + C_2 + C_3$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازي

ويمكن أن يكون المواسعة أى قيمة مطلوبة



من هذا ينتج أن :

عدد توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازي في دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$س إجمالية = ن \times س$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازي .

شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازي

$$١ - س = ٨ \mu ف . ٢ - س = ٧ \mu ف . ٣ - س = ٣ \mu ف . ٤ - س = ٢ \mu ف .$$

$$٤ - س = ٤ \mu ف .$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة في الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحل :

$$س إجمالية = س + س + س + س = ٨ \mu ف + ٧ \mu ف + ٣ \mu ف + ٢ \mu ف$$

$$= ٨ + ٧ + ٣ + ٢ = ٢٠ \mu ف$$

$$= ٢٢ \mu ف$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هي ٢٢ $\mu ف$.

(ب) توصيل المواسعات على التوالي :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي ، مواسعاتها ١ س ، ٢ س ، ٣ س

لفرق الجهد في هذه الدائرة الكهربائية ج = ج + ج + ج كما هو مبين بالشكل .

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$$ج = \frac{ك}{س} . ومن هذه العلاقة نستنتج :$$

$$ج = \frac{ك}{س} = \frac{ك}{س} + \frac{ك}{س} + \frac{ك}{س}$$

مبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{١}{س إجمالية} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س} + \frac{١}{س}$$

شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالي

هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .
ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالي :

$$\frac{1\text{س} \times 2\text{س}}{1\text{س} + 2\text{س}} = \text{س إجمالية}$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية لترتبية الدائرة الكهربائية المبينة في لشكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : س إجمالية



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالي

$$1 - \text{س} = 2 \text{ م ف} . \quad 3 - \text{س} = 4 \text{ م ف} .$$

$$2 - \text{س} = 8 \text{ م ف} . \quad 4 - \text{س} = 4 \text{ م ف} .$$

الحل :

$$\frac{1}{4\text{س}} + \frac{1}{3\text{س}} + \frac{1}{2\text{س}} + \frac{1}{1\text{س}} = \frac{1}{\text{س إجمالية}}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} =$$

$$\frac{2}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{8} + \frac{4}{8} =$$

$$\frac{9}{8} =$$

$$\text{س إجمالية} = \frac{8}{9} \text{ م ف}$$

$$= 0,88 \text{ م ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتبية ٠,٨٨ م ف .

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسمات لها نفس المواسعة موصلة على التوالي
نستخدم الصيغة :

$$S_{\text{إجمالية}} = \frac{S}{N}$$

حيث N عدد المواسمات الموصلة على التوالي .

مثال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسمات مواسعة كل منها 16μ ف . موصلة على التوالي .
فما المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب : $S_{\text{إجمالية}}$

الحل :

$$S_{\text{إجمالية}} = \frac{S}{N}$$

$$S_{\text{إجمالية}} = \frac{16}{6}$$

$$S_{\text{إجمالية}} = 2,67 \mu \text{ ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هي $2,67 \mu \text{ ف}$

١١ - الأنواع المختلفة للمواسمات :

للمواسمات تطبيقات كثيرة في الدوائر الكهربائية ، وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

- مواسمات مغلقة .
- مواسمات أنبوبية .
- مواسمات ألواح .
- مواسمات ألواح دوارة أو مواسمات متغيرة .
- مواسمات تشذيب .

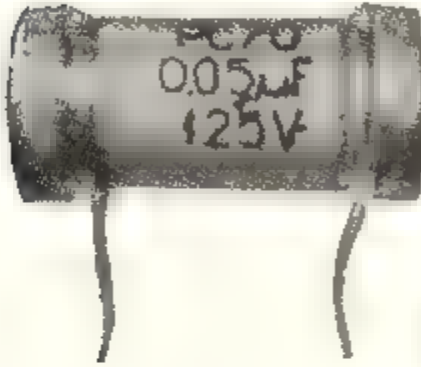
"وعلى العموم فإن تصميم المواسم لا يعطى أى بيانات عن مواسمته ، ومتانة وسطه الكهربائي
العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسط الكهربائي العازل وأبعاده الهندسية .

وتبعا لنوع الوسط الكهربائي العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسمات إلى :

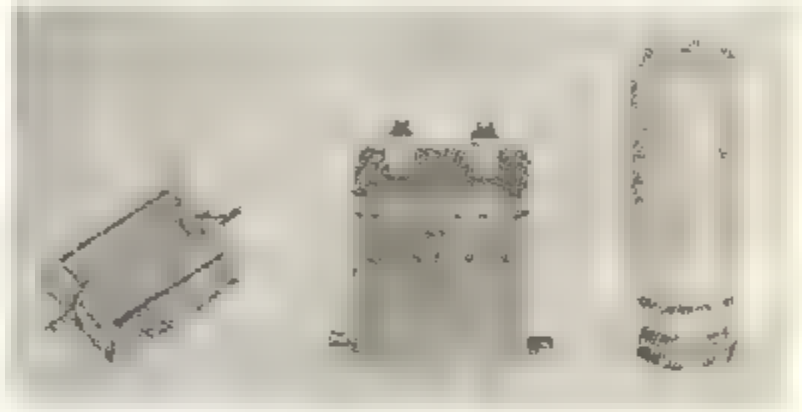
- مواسعات هوائية .
- مواسعات ميكانيكية .
- مواسعات خزفية .
- مواسعات إلكترونية .

وانتطبق المعطى يحكم ويحدد التصميم ، والوسط الكهربائي العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثل لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج المواسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٢) ، بعض تصاميم المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات يبنى على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات لمتغيرة وغير المتغيرة .



الشكل ١٥٩



الشكل ١٦٠

الشكل ١٦١

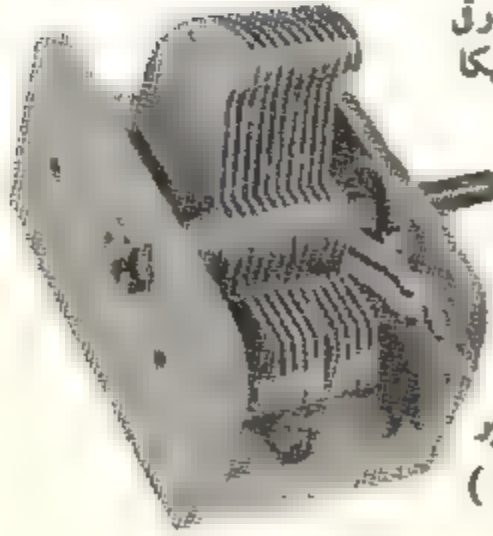
الشكل ١٦٢

الشكل (١٥٩) : مواسع خزفية
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)

الشكل (١٦٠) : مواسع إلكترونية

الشكل (١٦١) : مواسع ورقية

الشكل (١٦٢) : مواسع ميكانيكية



شكل ١٦٣ : مواسع متغيرة
(حوالي ٥٠٠ بيكو فاراد)

(١) المواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للموسعة . واختاراً على جودة المنتج ، يمس عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقتنات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يرود المواسع ببطاقة مقتنات ، تعطى معلومات عن الموسعة ، و لجهد المقنن (وأحياناً جهد الاختبار أيضاً) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .

والجدول التالى يعطى حصراً للمواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النوع	الشكل	المازل	البطانة	التطبيق
مواسع ورقى	شكل مجمع ، أنبوبى ، أسطوانى	ورق مشبع بالبارافين، ورق زيت .	رقيقة ألومنيوم، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكيةواللاسلكية، مواسعات القدرة غير الفعالة فى هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطوانى ، طرار درفين	استير وفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكاترونك	مكعبات	ميكاترونك	فضة ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة الممايرة والقياس التى تعمل بتيار متردد على التردد
مواسع إلكترونية	أسطوانى	أكسيدألومنيوم، هيدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة، تسوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط

مواسع خزفي	أنوبي، على هيئة كالكيت ، عادة فضة	هندسة الاتصالات
فنجان	تمبا، إيسلان	اللاسلكية ،
		المواسعات ، ذات
		الاستقرار العالي ،
		استقرار الجهد
		العالية .

(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة في نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة (الشكل ١٦٣) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحاً واحداً من المراسع ، بينما تكون ألواح الآخر مجمعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضاً ببعض. ويتدور عمود محور يمكن أن تتداخل المجموعة الثانية في الأولى تتداخل كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هي مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالي على قائمة المواسعات المتغيرة الأكثر شهرة في الاستخدام :

النوع	الوسط الكهربائي العزل	التطبيق
مواسع هوائي متغير	هواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورق متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التفذية المترجمة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة لفقد الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إيسلان	دوائر موالفة التذبذبات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

الفصل الثانى عشر

التيار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنيات الكهربائية العامة ، التى بيئت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصدر جهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة ، كانت قل كل شئ عبارة عن أعمدة حللمية . مثل المراكم أو أنطمة التعذية التى توزع جهده مستمرا من مولدات . وعلى كل ، والتيار المستمر له أهمية سعري بالنسبة لمصدر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مصدرا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما انيوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

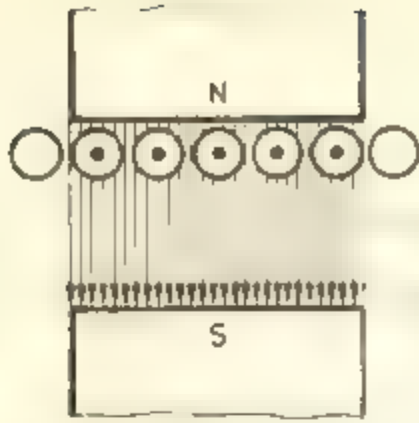
١٢ | ١ - التيار المتردد الجوى :

(١) تعريف فكرة التيار المتردد :

لبدء فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل (١٢٦) . عندما يمر موصل خلال مجال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يجمع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينحصر الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يمر تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يمرى التيار فى اتجاه عكسى ، ويبين ذلك بالشكل (١٢٤) .

وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موزيا لحطوط الميكنس ، لا يحدث حث (الشكل ١٢٥) . ويعطى الشكل (١٢٦) إيصالا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهنا وإديبا ، طبقا لما هو مبين بالشكل (١٢٤) . وعندما يؤخذ الموصل عبر المجال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

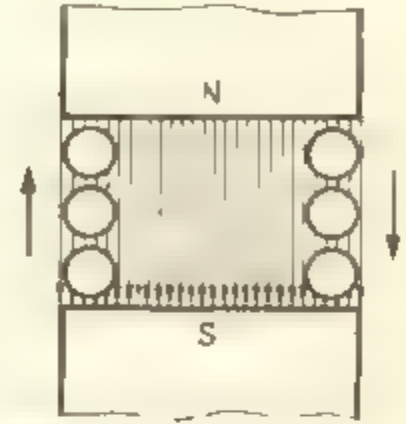
ويبين هذا بالجزء العلوى من المسمى (١) من الشكل (١٢٦) . وعندما يؤخذ بموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المنتج بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المسمى (٢) بالشكل (١٢٦)



شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسي للحركة

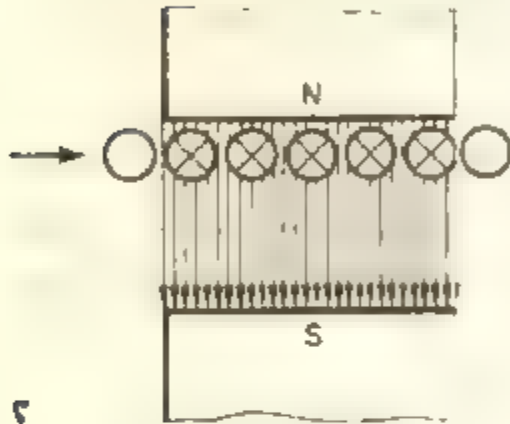
- ١ - اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
- ٢ - اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .

١



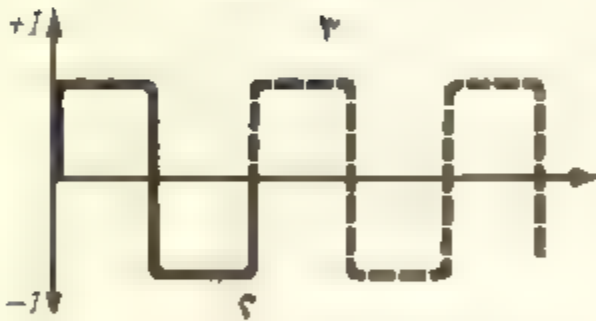
شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل في هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث

٢



شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغناطيسي

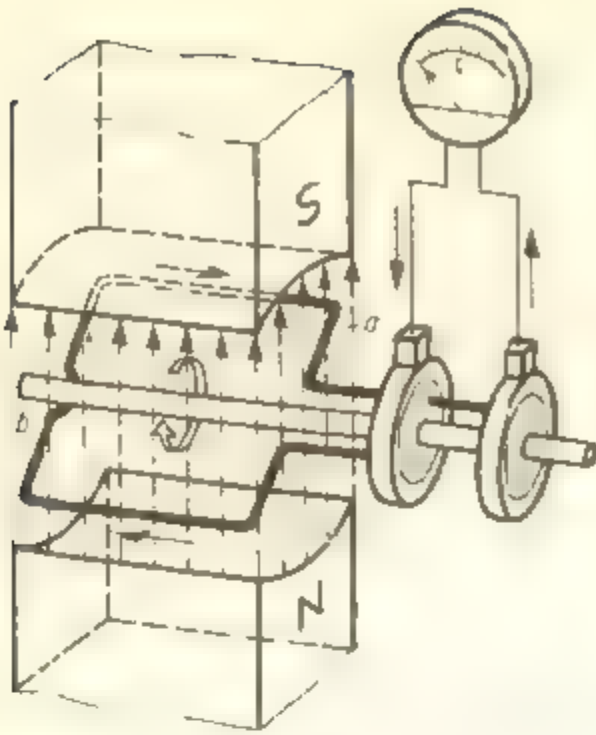
- ١ - اتجاه التيار عندما يتحرك في اتجاه واحد .
- ٢ - اتجاه التيار عندما يتحرك في الاتجاه الآخر .
- ٣ - سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .



وإذا تحرك الموصل ذهاب وإياب دوريا ، نحصل على متحن تيار ، كما هو مبين بالمخطط المتقطعة (٣) في الشكل (١٦٦) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان للتيار المتردد . وهو يتغير باستمرار في الاتجاه والشدة .

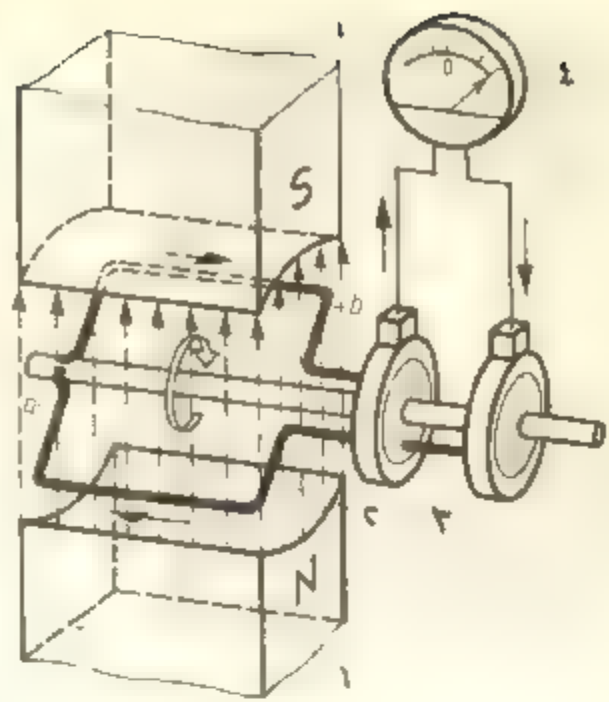
(ب) الحلقة الموصلة الدارة في المجال المغناطيسي :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملي من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد، على أساس الحركة الدورانية، له فوائد . ويبين الشكل (١٦٧) مثالا لنموذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على النطاق التجارى .



شكل ١٦٨ :

وضع الحلقة بعد نصف دورة



شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد

- ١ - أقطاب مغناطيسية .
- ٢ - حلقة انزلاق .
- ٣ - حلقة مستطيلة بقاطع .
- ٤ - جهاز لياس .

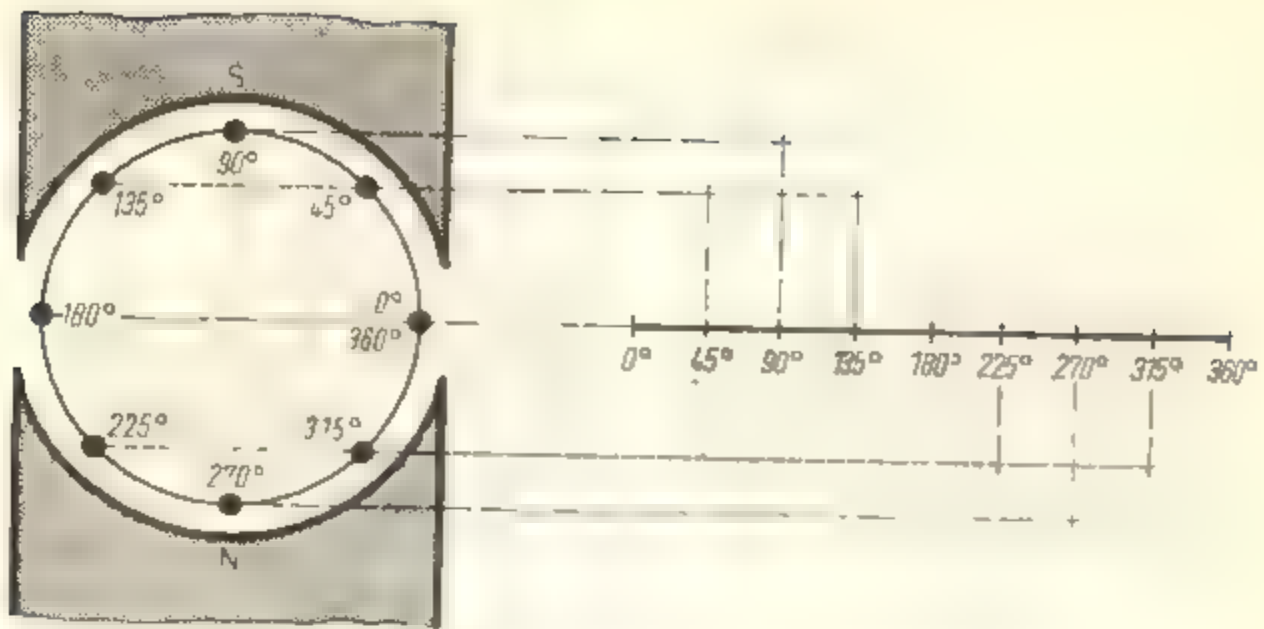
تصمم الأقطاب المغناطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء الدورانية (a ، b) من الحلقة على نفس انبعاث من السطح الكلي لها . وعندما نلق نظرة أقرب ، على مقطع الموصل (b) ، نجد أنه يتحرك تجاه اليمين ، بينما يتحرك مقطع الموصل (a) بعيداً عن اليمين . ويكون اتجاه سريان التيار في الحلقة مبيناً بالأشهر . وبين في الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحريك الحلقة نصف دورة .

وعندما نلق نظرة أقرب على مقطع الموصل (a ، b) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار في أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة في نطاق المجال المغناطيسي ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائي اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . وبين منحني التيار الذي نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائري ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر ، ٤٥ ، ٩٠ ، ١٣٥ ، ١٨٠ ، ٢٢٥ ، ٢٧٠ ، ٣١٥ ، و ٣٦٠ (وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر) ، المبينة على الدائرة في الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التي يقطعها مقطع الموصل في دورة واحدة من :

$$L = \pi \times C$$



شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحى جيوى : أوضاع مقطع الموصل مسقطة عن خط مستقيم له أبعاد المر الدائرى

حيث l = طول المحيط .

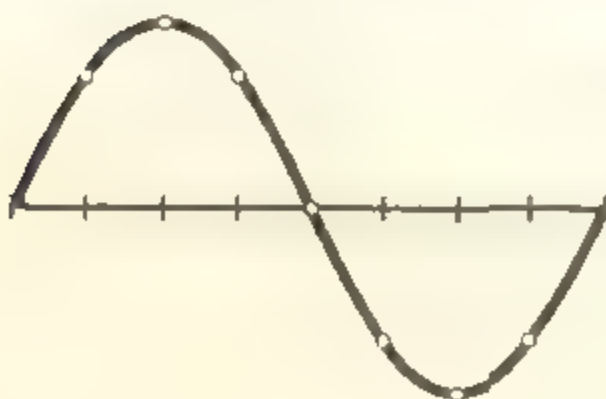
q = قطر الدائرة

p = النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها، ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠ . ويمكن التمييز عن أى قسم بين هذه النقط بالآتى :

$$\frac{1}{8} q \times p$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل (بدءا بالوضع ٤٥°) يحصل عن نقط أعلى وأسفل المحل المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها (انشكل ١٧٠) . ويمكن استنتاج ما يلى ، من هذا المنحنى لتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحى جيوى مرسوم عبر انقط المسقطة

١ - يردد التيار من قيمة الصفر (عدد وضع صفر °) إلى قيمة قصوى (عدد وضع ٩٠ °) .
٢ - ينحصر التيار من القيمة القصوى (عدد وضع ٩٠ °) إلى قيمة الصفر (عدد وضع ١٨٠ °) .

٣ - يردد التيار من قيمة الصفر (عدد وضع ١٨٠ °) إلى قيمة قصوى (عدد وضع ٢٧٠ °) متخذاً اتجاهها عكسياً .

٤ - ينحصر التيار من القيمة القصوى (عدد وضع ٢٧٠ °) إلى قيمة صفر (عدد وضع ٣٦٠ °) .

ويسمى التيار المار بين الوصلين صفر ° ، ١٨٠ ° ، « تيار الموجب » ويسمى التيار المار بين ١٨٠ ° ، ٣٦٠ ° « بالتيار السالب » . وعلى ذلك يكون لمحنى التيار المار بين قيمتي قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة وعند مقارنته بالشكل (١٦٤) والشكل (١٦٥) بالمحني المبين في الشكل (١٧٠) يمكن ملاحظة الآتي . يتحرك ممطع الموصل بمرور على خطوط الحمل خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠ ° ، ٢٧٠ ° وفي هذين الوصلين ، وحلان هاتين الفترتين ، يتحرج تحت أعلى جهد ، وبأشد أعلى شدة للتيار ويكون اتجاه حركة ممطع الموصل موارد لمخروط الحمل فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر ° / ٣٦٠ ° ، ١٨٠ ° . هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث .

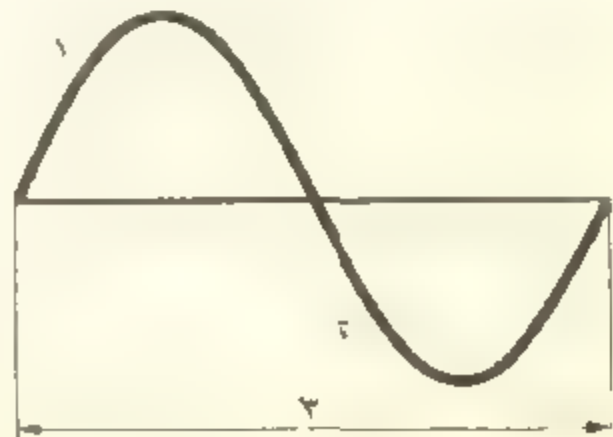
٢/١٧ - كيات لتحمين التيار المتردد :

(١) الموجة والدورة :

يسمى التيار المتردد المبين في الشكل (١٧٠) بفتح خصوصيات ويسمى المحنى لدى ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد « موجة واحدة أو تذبذب واحد » وتتكون الموجة من نصف موجة أحدهم موجب (+) والنصف الآخر سالب (-)

ويستحق خلال الدورة الثانية للحلقة في الموصل محنى تيار آخر . يكرر هذه الدورة دورياً أثناء تحرك حلقة الموصل لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد « دورة » أو « موجة كاملة » .

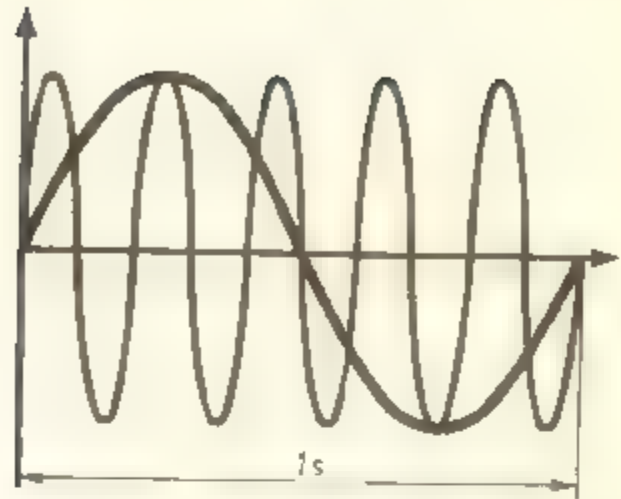
يبين الشكل (١٧١) أجزاء المحنى ومدلولاتها :



شكل ١٧١ :

مدلولات أجزاء المحنى جيبى

- ١ - نصف موجة موجب .
- ٢ - نصف موجة سالب .
- ٣ - موجة أو تذبذب أو دورة .



شكل ١٧٧ :
تمثيل الترددات ١ هيرتز ، ١٠ هيرتز ، ١٠٠ هيرتز

(ب) التردد والدورة :

حساب عدد مرات إنتاج موجة في وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ في الاعتبار المعدل الذي تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادي للتيار المتردد التجارى على عدد معين من الموجات في وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » بوصف عدد الدورات لكل ثانية ، التيار متردد أو جهد متردد . ويحرف التردد عن أنه عدد للدورات في الثانية (إحصاراً د في ث أو د/ث) ووحدة أخرى للتردد هي الهيرتز التي تساوى دورة واحدة في ثانية واحدة .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
التردد	هـ	هيرتز	هرز

وسيت وحدة الدورة في الثانية بهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعة الألماني هينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، (من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤) . واهيرتز هو دورة واحدة في الثانية ، أى أن :

$$١ \text{ هيرتز} = \frac{١}{\text{ث}} \text{ أو } ١ \text{ هرز} = ١ \text{ ث}^{-١}$$

ويبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان حائل وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفي الشكل المذكور ، بين المحنى اسميك موجة متوجة من دورة واحدة ، الحلقة المولدة في ثانية واحدة ، بينما بين المحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران أحسنه ٥ دورات في الثانية . وفي هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ٥ هيرتز .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، نستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

$$١ \text{ كيلو هيرتز} = ١٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٣١٠ \text{ هرز}$$

$$١ \text{ ميجا هيرتز} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٦٠٠ \text{ هرز}$$

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

٥٠ هز	تيار متردد تجارى
$16 \frac{2}{3}$ هز	تيار متردد لعمليات السكك الحديدية
٢٥ هز	النداء بندق الجرس فى هندسة الاتصالات
١٠٥٠ هز	مرسل موجة متوسطة مثلاً
٩,٥ ميغا هز	مرسل موجة قصيرة مثلاً
٨٩,٦ ميغا هز	مرسل موجة تردد عالى جداً (مثلاً)
٦٥ ميغا هز	مرسل تليفزيون مثلاً ، صوت
٥٩ ميغا هز	، صورة

وإذا حسب تحديد زمن الدورة T للدورة λ ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فإن :

$$\frac{1}{\text{التردد}} = \text{الدورة}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

مثال :

ما دورة التردد المستخدم فى عمليات السكك الحديدية ؟

$$\text{المعطيات : } f = 16 \frac{2}{3} \text{ هز}$$

المطلوب : T

الحل :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{16 \frac{2}{3}} = \frac{1}{16,66}$$

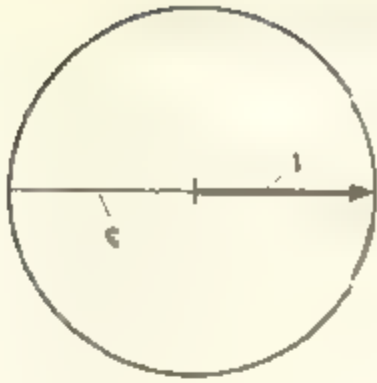
$$T = 0,06 \text{ ث.}$$

(ج) التردد الزاوى :

فى بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية وهذا يعرف بأنه الزاوية التى يتحرك خلالها مؤشر فى وحدة زمن ما (الشكل ١٧٣) وإذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر (أو حلقة من سلك موصل) يساوى واحداً ، يكون محيط هذه الدائرة هو 2π .

والتردد الزاوى ω (أوميغا) لتيار المتردد يساوى 2π مضروباً فى التردد f وعليه فإن :

$$\omega = 2\pi f$$



شكل ١٧٣ : التردد الزاوي

١- مؤشر .

٢- نصف قطر الدائرة .

مثال :

ما التردد الزاوي لتيار متردد له $16 \frac{2}{3}$ هز ؟

المعطيات : د = $16 \frac{2}{3}$ هز

المطلوب : التردد الزاوي ω

الحل :

$$\omega = 2\pi \times 16 \frac{2}{3} \times \frac{60}{2\pi}$$

$$= 104.7 \text{ ث}^{-1}$$

التردد الزاوي لهذا التيار 104.7 ث^{-1}

(د) طول الموجة :

تشمل البيانات المتعلقة بالمعدات المستخدمة في هندسة الاستقبال والقل عادة على معومات

حول طول الدورة (الموجة) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة λ

(لاند) بأنه طول موجة مبرأ عنه بوحدة الطول . وللمساعدة في فهم العلاقة بين طول الموجة

و التردد، نرجع إلى سرعة الامتداد - الانتشار (الفصل الثالث) وكافيل من مثل في هذا المجال ،

تنتشر الكهرباء بسرعة 300000 كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلي

$$300000 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{d}$$

مثال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجاري ؟

$$d = 50 \text{ هز}$$

$$e = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

المطلوب : λ

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{6000000} = 50 \text{ متر}$$

$$= 6000 \text{ كيلومتر}$$

طول الموجة لتيار متردد تجارى 6000 كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلو هيرتز (كيلو هز) أو بالميجا هيرتز (ميجا هز) ، فينصح أولاً بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلو هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^8 كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة 3×10^6 ميجا متر/ث

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 1000 كيلو هيرتز ؟

المعطيات : $d = 1000$ كيلو هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ كيلومتر/ث}$$

المطلوب :

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{1000} = 300000 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو 300000 متر .

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 60 ميجا هرتز ؟

المعطيات : $d = 60$ ميجا هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ميجا متر/ث}$$

المطلوب : λ

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

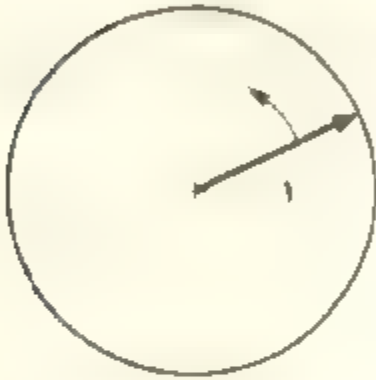
$$\frac{210 \times 3}{60} =$$

$$= 5 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

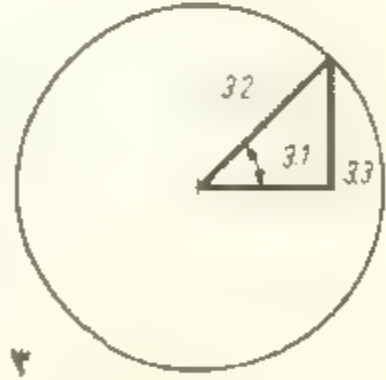
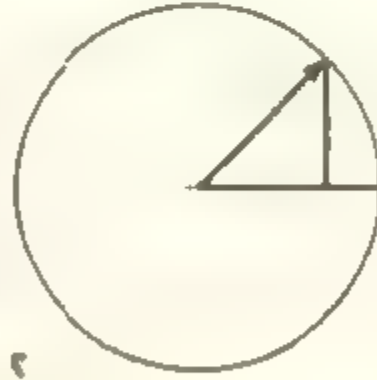
(٥) قيم الدروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

عندما أوضحنا المحنى الجيبى للتيار المتردد (الشكل ١٧٠) ، لاحظنا قيمتين قصويتين (عند وضع 90° ، 270°) وقيمتى صفر (عند وضع صفر 0° ، 360° ، 180°) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية تيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة ليار أو جهد وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار . ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غرايتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .



شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ - طول المتجه ل يساوى ج د .



شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١ - وضع المتجه عند 45°
٢ - إسقاط عمود
٣ - وصف المثلث

١ - وضع المتجه عند 45°
٢ - إسقاط عمود
٣ - وصف المثلث

تمثيل المتجه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية ماطرة ، يمكن أن يدور فيها متجه في عكس عقارب الساعة . لنفرض أن طول المتجه يساوى جهداً أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة ج_ز ، تبغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة المتجه (عند وضع ٩٠° ، ٢٧٠°)
يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند ٤٥° . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على المحر الدائري ، ينتج دالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد قيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥ - ٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية (الشكل ١٧٥ - ٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \infty = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

(و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود في كل من المدى الموجب والمدى السالب . بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر° ، ٩٠° ، ١٨٠° ، ٢٧٠° ، ٣٦٠° .

وفي هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد في هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهد ج_ز هي ٣١١ فلت .

يمكن حساب الجهد عند وضع ٤٥° من دالة الجيب . جيب $\infty \times$ الوتر . وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب $\infty \times$ ج_ز .

وتعطي قيمة جيب ٤٥° في الجداول ، وهي ٠,٧٠٧ ، بحيث نجد :

ج = ٠,٧٠٧ \times ٣١١ فلت ، ج = ٢٢٠ فلت وتكون القيمة اللحظية ح للجهد متردد بقيمة ذروة ج_ز = ٣١١ فلت ، وهي ٢٢٠ فلت عندما يكون وضع حلقة الموصل عند ٤٥° .

مثال :

إذا كانت قيمة الذروة للجهد متردد ٥٣٨ فلت فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند ٣٠° ؟

المعطيات : ج_ز = ٥٣٨ فلت .

جيب ٣٠° = ٠,٥

المطلوب : ح

الحل :

$$ج = جيب ٣٠^\circ \times ج ز$$

$$٥٣٨ \times ٠,٥ =$$

$$= ٢٦٩ \text{ فلت}$$

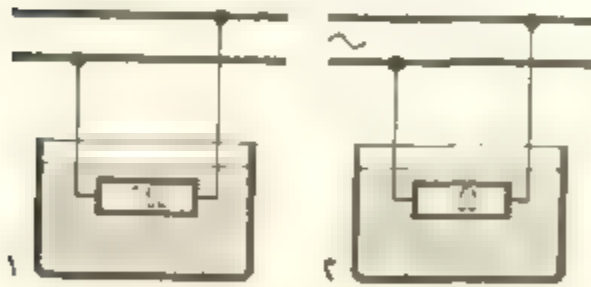
القيمة المخطئة لهذا الجهد ٢٦٩ فلت .

(ز) القيمة الفعالة لجهد المتردد والتيار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبين لدائرتين تساعدان في تعيين الشغل ش الذي يبذله تيار كهربائي .
في الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته $\Omega ١$ ، في دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الدروة
لهذا التيار المستمر = ٣ أمب .

وفي الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذروة ت
= ٣ أمبير ، يبدن شعلا في مقاومة قيمتها $\Omega ١$. ويمكن إيجاد الشغل الذي تبذله التيارات
بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء مختبرات تبين
أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار
المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسياقش سبب وجود هذا الفرق . والعلاقة بين هذين الشكلين
للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد في تبين

الشغل الذي يبذله التيار ش

١ - الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .

٢ - الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفي الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائي (في دوائر التيار المستمر)

يساوي :

$$ش = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن ج = ت \times م ، فإننا نحصل على

$$\text{ش} = \text{ت} \times \text{م} \times \text{ت} \times \text{ز} \quad \text{أو}$$

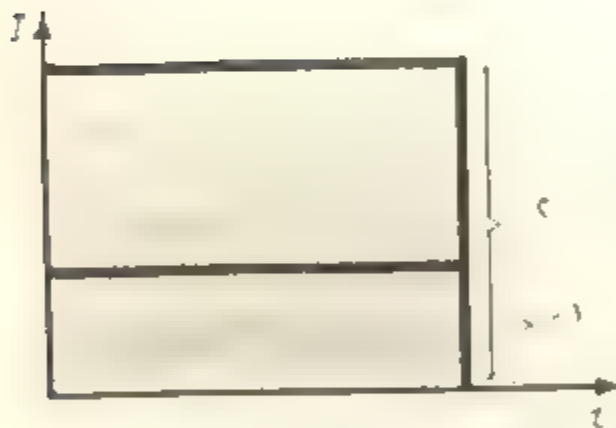
$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{م} \times \text{ز}$$

في هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمها ١ أوم . وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{ز}$$

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطي للشغل ش ، الممثل بواسطة التيار المستمر ، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توضع على محور الزمن (الشكل ١٧٧) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبدول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، في شكل مساحة توضع على محور الزمن (الشكل ١٧٨) . في هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالبة أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$$- \text{ت} \times \text{ز} = - \text{ت}^2 \times \text{ز}$$



شكل ١٧٧ :

تمثيل الشغل المبدول بواسطة التيار المستمر

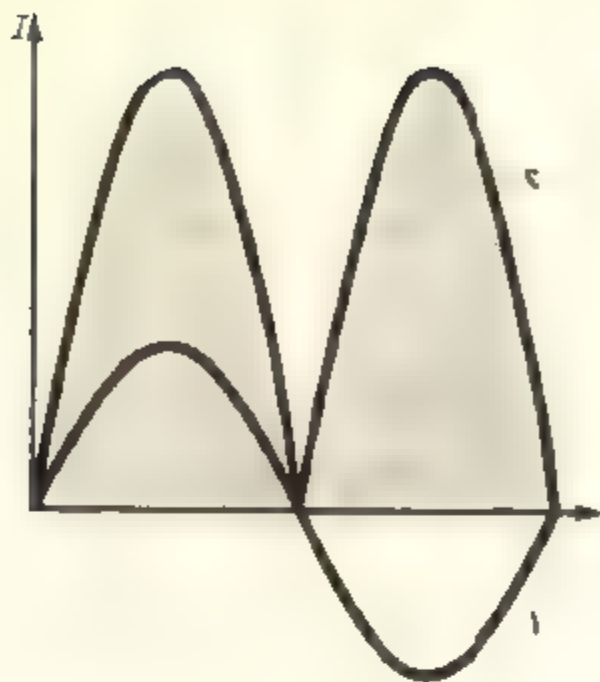
$$1 - \text{ت} \times \text{ز} = 1$$

$$2 - \text{ت}^2 \times \text{ز} = 2$$

وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كوتشور في هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التي يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ، بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التي تمثل الشغل المبدول بواسطة التيار المستمر (الشكل ١٧٨) . وقد بينت هاتان المساحتان في منحنى واحد للمقاومة في الشكل (١٧٩) .

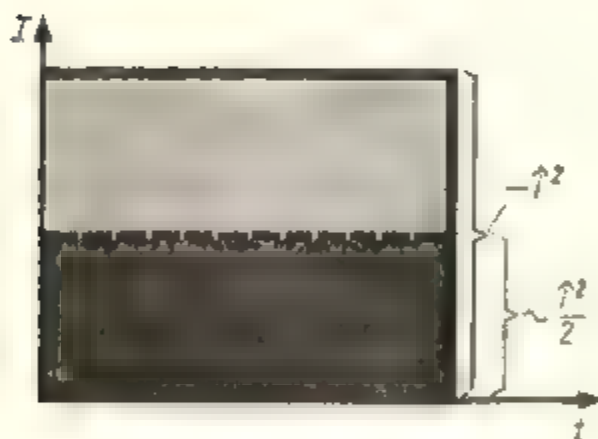
من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

$$1 - \text{يكون الشغل المبدول بواسطة تيار متردد هو} \frac{\text{ت}^2 \times \text{ز}}{2} \text{ ، عند نفس قيمة الدروة ت} \times \text{ز}$$



شكل ١٧٨ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد

- ١ - منحنى i جيبي .
- ٢ - منحنى i^2 جيبي .



شكل ١٧٩ :
مقارنة بين نوعي الشغل عند
نفس القيمة القصوى للتيار i

- ٢ - لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة لتيار المستمر بقيمة i ، يجب أن تكون قيمة التيار المتردد هي $i \sqrt{2} \times T = 1,414 \times T$.
- ٣ - يسمى التعبير $\frac{i^2 T}{2}$ بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن

هذا يلي :

$$i^2 T = \frac{i^2 T}{2} \times 2 , \quad \frac{i^2 T}{2} = T \times 0,707 \times T$$

٤ - بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$E^2 = \frac{E^2}{2} = E \cdot \frac{E}{2} = E \cdot 0,707 \times E$$

• - من هذا ، تبين قيمة الجهد وشدة التيار في شكل العلاقة :

$$E_z = E \cdot \sqrt{2} = E \times 1,414$$

$$I_z = I \cdot \sqrt{2} = I \times 1,414$$

تكون القيمة العمدة للجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هي ٠,٧٠٧ مضروباً في قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

هذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة المحظية ، والقيمة الفعالة للجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية في بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر في الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم العمدة للكبات المناظرة لها .

١٢/٣ - المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية في دائرة التيار المتردد :

(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد :

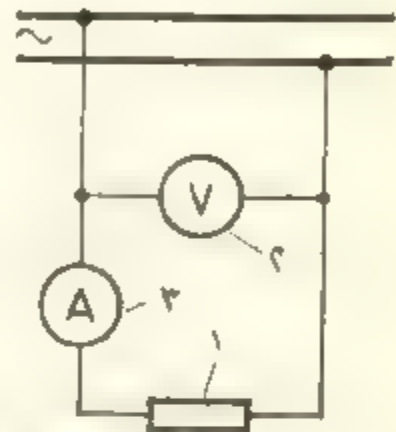
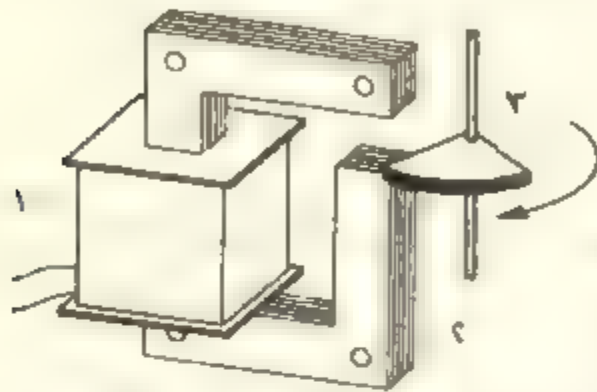
لقد وصفنا في القسم الأول - الفصل السادس ، في مجال الحديث عن المقاومات ، بضع مقاومات (مقاومات من السلك الملعوف ، مقاومات كربونية ، مقومات متغيرة) ويتبع تصرف هذه المقاومات في دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضاً ، أم لا ، عندما يوصل في دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام تيمناً فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، في دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضاً (الشكل ١٨٠) .

تسمى المقاومات في دائرة التيار المتردد ، التي تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة

(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد :

تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التي تحكمها قوانين الحث الذاتي (القسم الأول - الفصل العاشر) . والتعبير العام لنهية أو عنصر دائرة كهربائية له محادثة هو « ملف محاث »

لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات الحثية هذه تكون مغناطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونها ، أو لحيقات في حركات ، أو مولدات كهربائية وتشير المناقشة التالية إلى ملف كايح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاث ، لأن له محاثته . ويمكن تغير الحث المسطحي له بواسطة القلب الحديد والملف الكسح عبارة عن عينه ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات الحثية (الشكل ١٨١) .



شكل ١٨١ : ملف متغير كايح للتيار

شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار في دائرة تيار متردد

- ١ - ملف .
- ٢ - قلب حديد .
- ٣ - نبيطة ضبط (لتغير كثرة الهواء) .

- ١ - مقاومة أومية .
- ٢ - فلظمتر .
- ٣ - أميتر .

(ج) تصرف ملفات الحثية في دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيبية لدائرة تشتمل على مصباح تنوهج ، وملف كايح للتيار ، موصلين على التوالي . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبية الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضىء المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار واجهد عن عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تتصرف طبقا لقانون أوم . وفي هذه الحالة ، يتصرف أيضا الملف الكايح للتيار طبقا لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبطل تأثيرا خاصا على تصرف الملف الكايح للتيار في دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغناطيسى للملف الكايح للتيار ، في دائرة كهربائية مقفلة ، أى عندما تنخفض أو تزداد كثرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج في الإضاءة دون تغير .

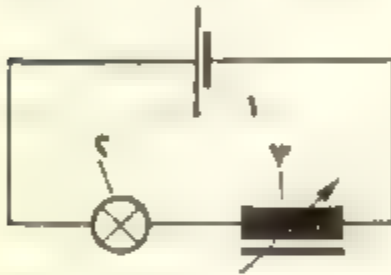
إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاث ، فتكون مقاومته الأومية فقط هي فعالة .

(د) تصرف ملفات المحادثة في دائرة التيار المتردد :

فيما يلي وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحادثة في دائرة التيار المتردد .

وفي هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائي موصل في دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفتاح كهربائي يسمى مغير القطب ، كيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المار في الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترقية دائرة تحتوي على مفتاح كهربائي حراري ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشه أساس تصميم المفتاح الكهربائي الحراري التصميم الخاص بوحدة ومضة بين الاتجاه بالصوت المستخدم في السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائي على مقوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد في نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز وعندما تقضى ترتيبية الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين لمفتاح الكهربائي الحراري . وتبعا لذلك يقف المفتاح ، ويشغل المتابع . في هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفي نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائي الحراري ويشغل المتابع .

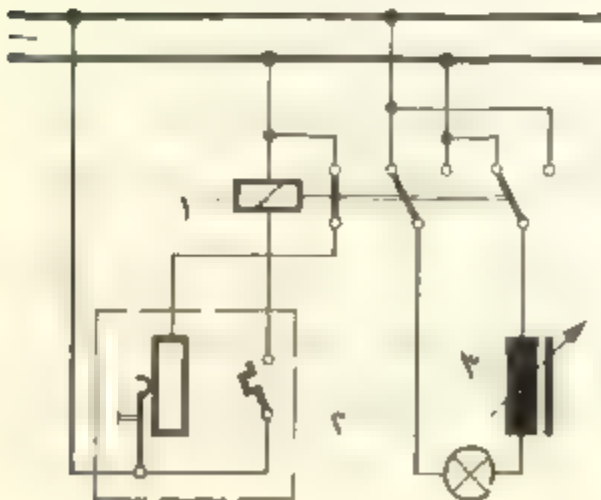


شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح للتيار في دائرة تيار مستمر

١ - مصدر الجهد .

٢ - مصباح متوهج .

٣ - ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :

ترتيبة تبين تصرف ملفات المحادثة في دوائر التيار المتردد

١ - متابع .

٢ - مفتاح كهربائي حراري .

٣ - مصباح متوهج وملف متغير

كابح للتيار .

تعاد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع ثقفل ملاسات المفتاح الكهربائي الحرارى ،
ويغذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى . يعطى الجدول التالى
شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترتيبية الدائرة هذه وكذلك التمج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١,٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١,٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مغلقة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مغلقة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مغلقة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

- ١ - تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثية .
- ٢ - تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المنطيسى للملف فى دائرة تيار متردد
إلى جانب المقاومة النعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثية
فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محاثية ملف :

فما يتعلق بمناقشة الحث الذاتى (القسم الأول - الفصل العاشر) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة
كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها الفعال عكس الاتجاه الفعال للطاقة
المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار في ملف بمقدار أمبير واحد ، في دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث في نفس الوقت جهد قيمته فقط واحد في هذا الملف ، يكون للملف محثا قيمتها

$$\frac{1 \text{ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحثا $\frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$ تسمى هنري نسبة إلى عالم الفيزياء ج . هنري (J . Henry)
(١٨٧٨ - ١٧٩٧) .

$$1 \text{ هنري} = \frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحثا هو ح

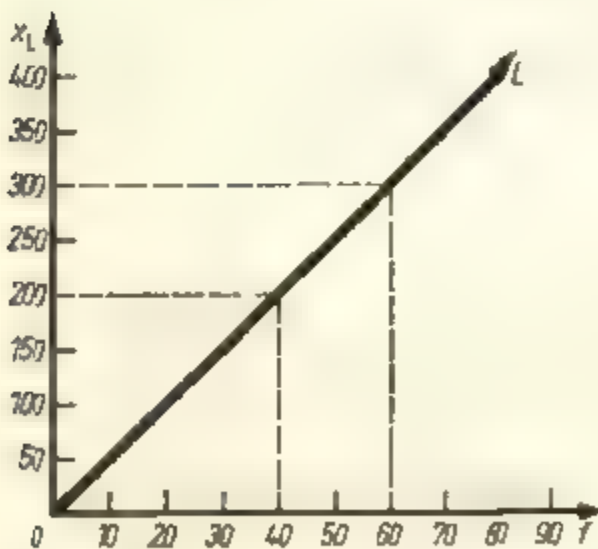
المفاعلة الحثية وتعييها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف لملف ما هي حاصل ضرب التردد الزاوي ω في المحثا ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف ح} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف ح من

$$\Omega = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}}$$

وبين الاعتماد المتبادل بين التردد الزاوي ، والمحثا ، والمفاعلة الحثية بالشكل (١٨٤) .
ومحاثا الملف المستخدمة في هذا الاختبار هي ه هنري .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين

$$L , X_L , \omega$$

حيث ω = المرحة الزاوية لتردد .

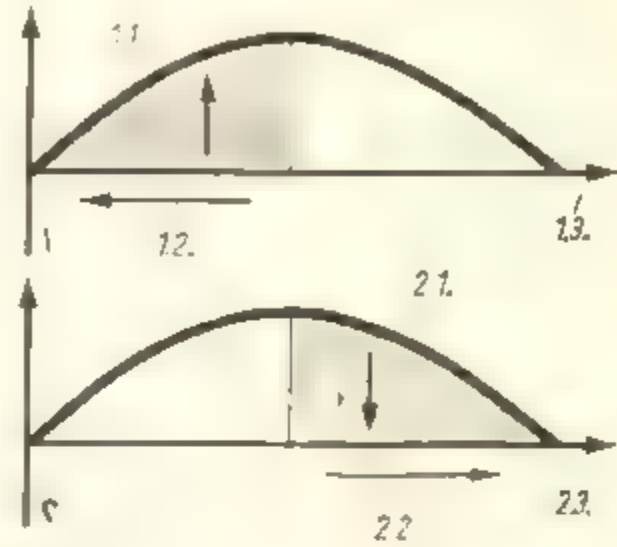
$$X_L = \text{مف ح} = \text{المفاعلة الحثية} .$$

$$L = \text{ح} = \text{الحث} .$$

المحثة والعلاقة الموثقة بين الجهد والتيار :

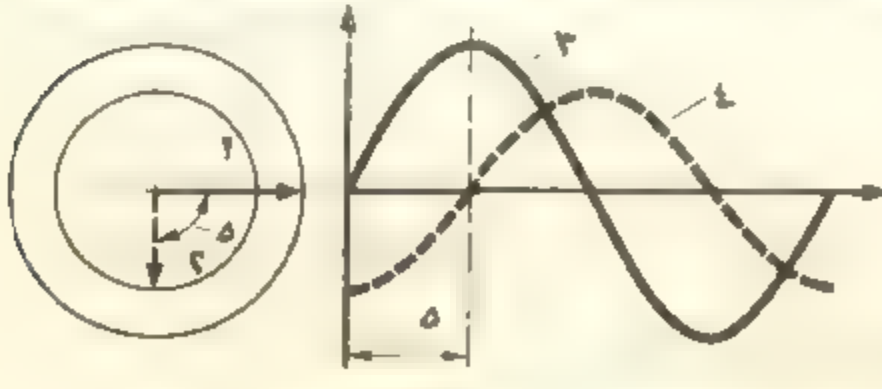
لقد نوقش تصرف ملف في دائرة تيار مستمر عن أسس لحث اذق ، ويفسر هـ تأثير الحث اذق على الجهد لتردد والتيار المتردد :

- شكل ١٨٥ :
- الجهد المنتج بالحث في ملف محثة خلال نصف دورة
- (١) - $1/1$ - طور المجال النامي .
- $2/1$ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- $3/1$ - اتجاه التيار المتردد .
- (٢) - $1/2$ - طور المجال المتلاشي .
- $2/2$ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- $3/2$ - اتجاه التيار المتردد .



يبين الشكل (١٨٥ - ١) تكوين المجال المغنطيس لملف محثة ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل (١٨٥ - ٢) خبو هذا المجال ، واتجاه القوة الدافعة الكهربائية منتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملعات محثة خدرجية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التي تحدث في دائرة تيار متردد ، والمبينة في الشكل (١٨٥) ، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط لملف محثة بين الوضعين صفر ، 90° إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة لدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التي يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جريث . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائي ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى لتيار في هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد في الوضعين من 90° إلى 180° إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجاه الجهد المتردد . ويصاف كلا الجهدين ويمملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر ويغير اتجاهه .



- ١ - متجه الجهد .
- ٢ - متجه التيار .
- ٣ - متجه الجهد .
- ٤ - متجه التيار .
- ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل حتى بحت

يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إراحة الطور » أو « فرق الطور » (الشكل ١٨٦) ويعبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور ϕ .

هذا كانت هذه ملعت محادثة في دائرة تيار متردد . يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذي يظهر متأخرا بأنه متخلف في الطور .

(٥) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد :

تصرف المواسعات في دائرة التيار المستمر :

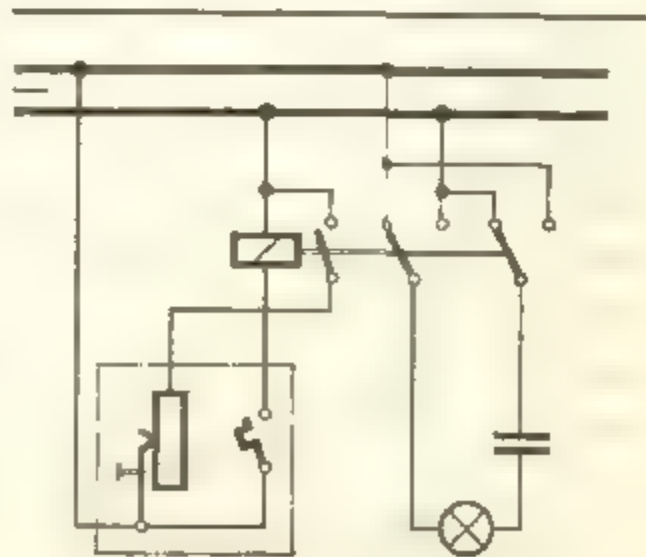
تسمى البنية الكهربية التي لها مواسعة « المواسع » وأظهرت مناقشة بحالات الكهربية المتجانسة أن المواسع الذي يوصل لدائرة تيار مستمر يثخن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كونه مقاوم تكون لمقاومة م للمواسعة ، في دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية (∞) .

للمواسعات في دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

تصرف المواسعات في دائرة التيار المتردد :

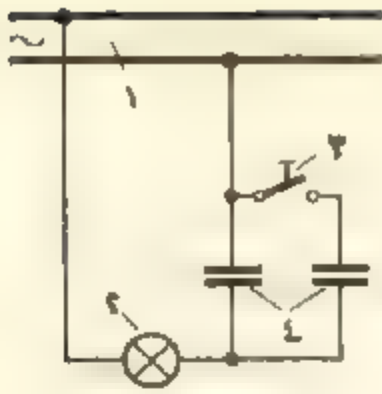
لبحث تصرف مواسع في دائرة تيار متردد (الشكل ١٨٧) تستخدم نفس الترتيب لمبينة في الشكل (١٨٣) ويستخدم بدلا من الملف الكاسح للتيار مواسع وكما في اختبار محاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التي يحصل عليها في حالة المواسعات في دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

النتيجة	شروط الاختبار
لا يضيء المصباح	تردد ١ هز
يشع المصباح ضوءا خافتا	تردد ١,٥ هز
يشع المصباح ضوءا أكثر	تردد ٢ هز



شكل ١٨٧ :

ترقية تبين تصرف المواسعات في دوائر التيار المتردد



شكل ١٨٨ : ترتيبية تبين تصرف المواسعات ذات التردد المنخفض

المنخفضة والعالية في دوائر التيار المتردد

- ١ - تردد المصدر = ٥٠ هز
- ٢ - مفتاح كهربائي .
- ٣ - مصباح متوهج .
- ٤ - مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيبية دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازي ، مع مرابع موصل على التوالي مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائي . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائي . وعند تشغيل المفتاح الكهربائي ، لتوصيل المواسع الثاني بالمواسع الأول على التوالي ، تتضاعف القدرة الصوتية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ - تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، في دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ - تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، في دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات في دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعريفها :

يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية X_c هي مقلوب حاصل ضرب التردد

الزاوي في المواسعة C ، وعليه فإن :

$$X_c = \frac{1}{C \times \omega}$$

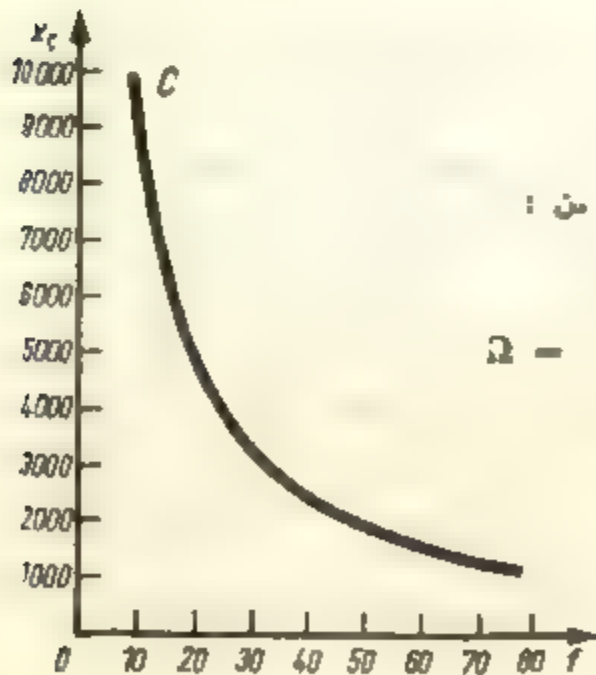
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية X_c من :

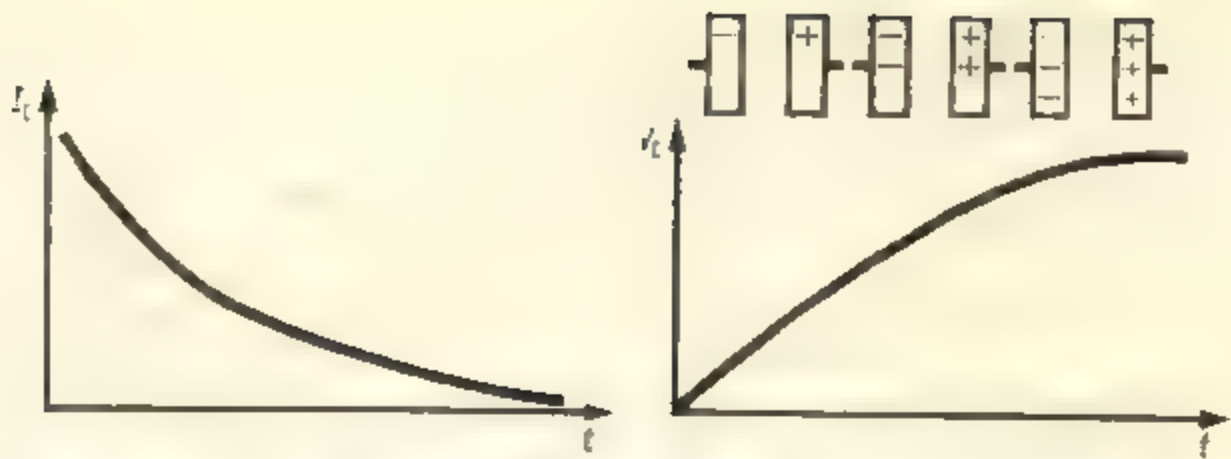
$$\Omega = \frac{1}{\frac{C}{\text{ف}} \times \frac{\omega}{\text{ث}}} = \frac{1}{\frac{C}{\text{ف}} \times \frac{2\pi f}{\text{ث}}} = \frac{1}{\frac{C \times 2\pi f}{\text{ف} \times \text{ث}}}$$

ويبين الشكل (١٨٩) الاعتماد المتبادل بين التردد

الزاوي ، والمواسعة ، والمفاعلة السعوية .

شكل ١٨٩ : العلاقة بين X_c ، C ، f





شكل ١٩٠: توليد التيار خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

شكل ١٩١: توليد الجهد خلال شحن مواسع في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

المواسعة والعلاقة الموقفة بين الجهد والتيار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هي الحال في المحاثات ، فرق طور بين الجهد والتيار ، في دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحى الجهد أثناء شحن مواسع خلال $\frac{1}{4}$ دورة . وكـ نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعنى أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر (الشكل ١٩١) .

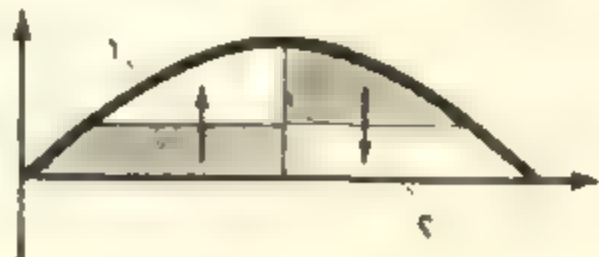
وكما هو الحال في المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغناطيسية وتغيبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتغيبو ، خلال مرحلة نصف موجة (الشكل ١٩٢) . عند إدماج مواسعات خارجية في دائرة كهربائية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية عادة) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة (الشكل ١٩٣) .

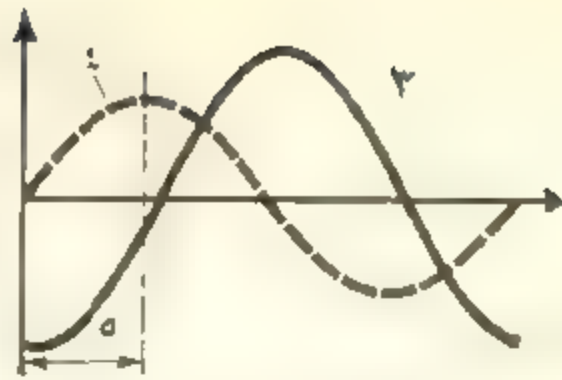
عند إدماج مواسعات في دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار في أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدماً زمنياً .

(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد :

يبين مما سبق ذكره ، فيما يختص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث في هذه الدائرة .

شكل ١٩٢ : تكوين وحبو مجال كهربائي خلال نصف موجة .
١ - تكوين مجال كهربائي .
٢ - حبو مجال كهربائي .





- ١ - متجه الجهد .
- ٢ - متجه التيار .
- ٣ - مسطح الجهد .
- ٤ - مسطح التيار .
- ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٩٢ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل سعوى يحث

ولا تحدث المقومات الفعالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .

والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد . تحوى مقاومات فعالة ، ومفاعلات حثية ، والتي تفتتج من القيم انغملة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتي تحلّف المقاومة م ، تعطى بالعلاقة :

$$V^2 = V_M^2 + V_C^2 + V_X^2$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاومة

مف = المفاعلة الحثية

ω = التردد الزاوى

ح = الحثية

وإذا أدمجت مقاومات فعالة ومفاعلات سعوية ، في دائرة تيار متردد ، وتعطى المعاوقة بالعلاقة :

$$V^2 = V_M^2 + V_C^2 + V_X^2$$

حيث : مف = المفاعلة السعوية .

س = المواسمة .

وتعاكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداها الأخرى . ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعالا في دائرة التيار المتردد وهو :

$$V_{\text{مع}} = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times \text{مف}} - \text{ح} \times \omega \right)^2 + \text{م}^2}$$

$$V = \sqrt{\left(\text{مف} - \text{مف} \right)^2 + \text{م}^2}$$

وإذا عبر عن الفرق (مف - مف) بالمفاعلة مف

ينتج أن :

$$V_{\text{مع}} = \sqrt{\text{مف}^2 + \text{م}^2}$$

ومن هه ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد في الشكل العام .

$$I = \frac{E}{Z}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times \text{مف}} - \text{مف} \times \omega \right)^2 + \text{م}^2}}$$

١٢/٤ - الشغل الكهربائي ، والقدرة الكهربائية لتيار المتردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد و طور تيار ، في دائرة تيار متردد ، نحصل على قدرة ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$P = I \times V$$

حيث يرمز الحرف P للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف V للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الطاهري ، نجد أن :

$$W = P \times t = I \times V \times t$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » « قدرتي التيار المتردد » .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد و طور التيار في متحنى العلاقة بينهما ، مساوية ٤٥° . وبضرب القيم الفعالة للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين في الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة في المدى السالب ، فهي تحدث في هذه المقاطع ، التي لا يظهر فيها الجهد والتيار معاً في المدى السالب ، أو في المدى

الموجب ($+$ \times $-$ $=$ $-$ ، $-$ \times $+$ $=$ $+$) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتميز آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين انقدرة المعدلة في دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا Φ « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى انقدرة الفعالة بالصيغة التالية .

$$\text{قدن} = \text{قدظ} \times \text{جتا } \Phi$$

$$= \text{جف} \times \text{تف} \times \text{جتا } \Phi$$

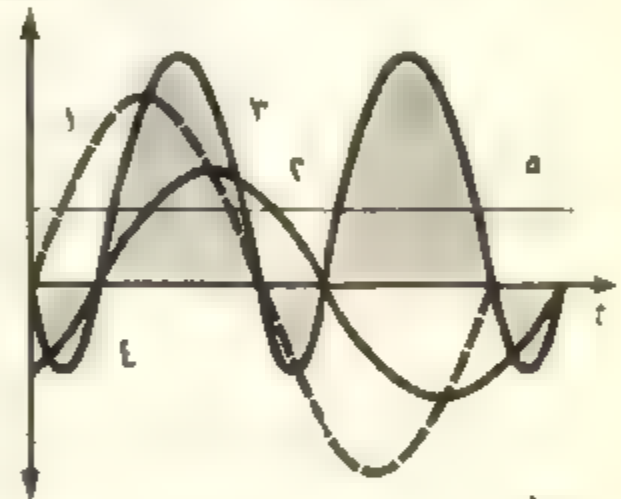
وبالتالي ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

$$\text{ش} = \text{قدظ} \times \text{ز}$$

$$= \text{جف} \times \text{تف} \times \text{جتا } \Phi \times \text{ز}$$

شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد عند فرقة طور 45°

- ١ - منحنى الجهد .
- ٢ - منحنى التيار .
- ٣ - مساحة القدرة في المدى الموجب .
- ٤ - مساحة القدرة في المدى السالب .
- ٥ - القيمة المتوسطة للقدرة عند $\Phi = 45^\circ$.



مثال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلت ، على محرك كهربائي ، وكان دخل التيار ١,٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فما القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة هذا المحرك الكهربائي ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلت .

ت = ١,٥ أمبير .

جتا $\Phi = ٠,٨٠$

المطلوب : قدظ ، قدن

الحل :

$$\text{قدظ} = \text{جف} \times \text{تف}$$

$$= 380 \times 1,0 = 380 \text{ واط}$$

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستخدم التعبير فل . مت (فلف - أمبير)
بدلاً من التعبير واط فلف = ج فلف ت فلف جتا Φ

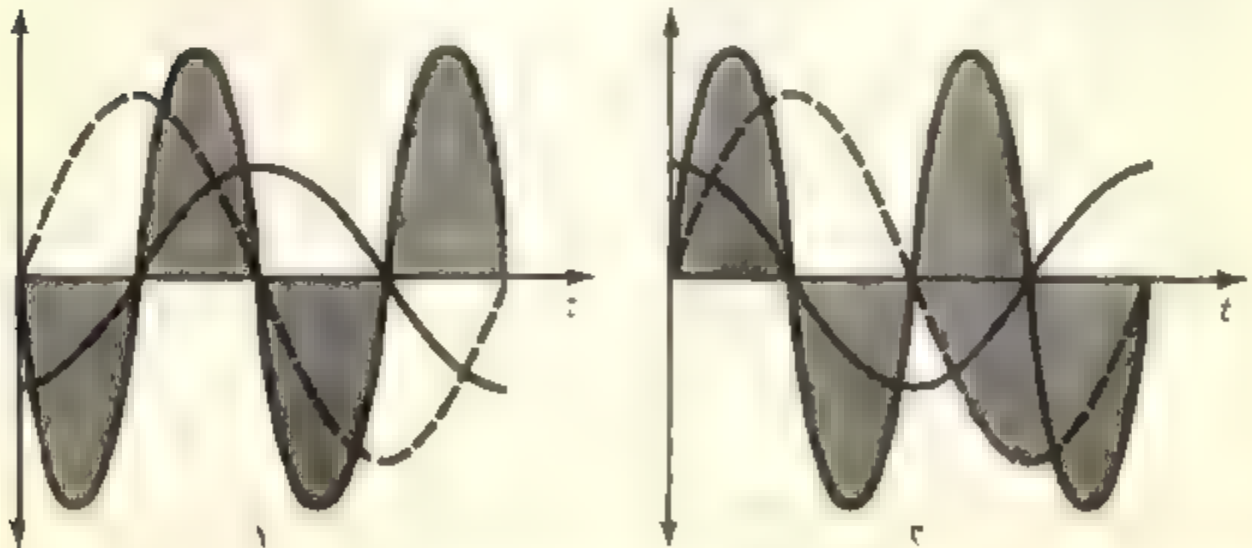
$$= 380 \times 1,0 \times 0,8 = 304 \text{ واط}$$

الأهمية العملية لعامل القدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور نصيب - 90° أو 90° في الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة (لشكل ١٩٥) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة في هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لا تحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أي قيمة بين صفر ، ١ فلف الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفراً ، بينما يكون عامل القدرة ١ في الدائرة ذات الحمل الأحمال البحتة .

وفي الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبية كهربائية بواسطة تدابير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق لطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

١ - منحني القدرة بحمل حثي بحت .

٢ - منحني القدرة بحمل سعوي بحت .

فحلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثي عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادي للمحركات الكهربائية والمحولات .

١٢/٥ - التيار المتردد الثلاثي الطور :

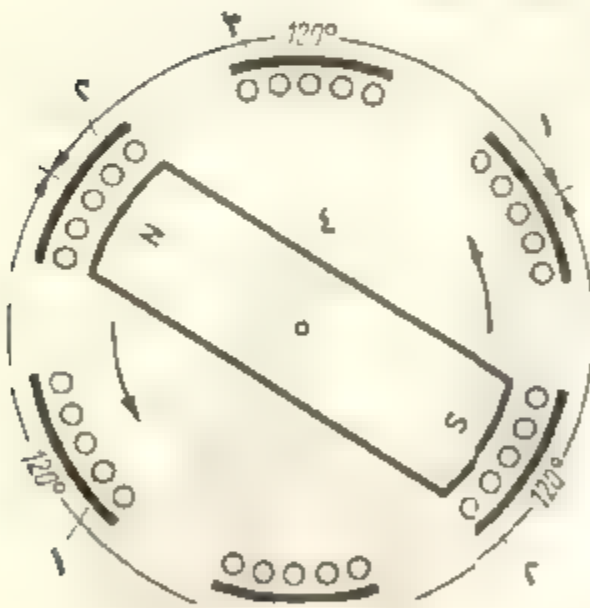
(١) تمثيل التيار المتردد الثلاثي الطور :

بنيت اعتبارات عن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد (انظر الشكل ١٩٧) . ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسي أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . وبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطي لترتيبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

التيار المتردد الأحادي الطور :

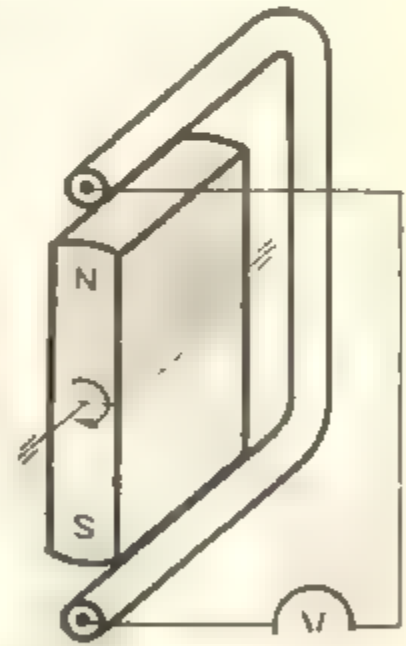
تطور التيار المتردد الأحادي الطور الذي تولد في بداية الكهرباء ، والذي كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثي الطور . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور . ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لعمية،ته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠° .

بين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطي لترتيبة لإحدى هذه اللقيفات .

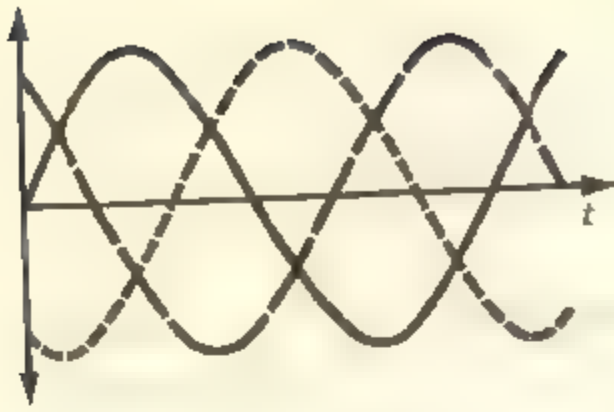


شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور

- ١- لفيفة I (نهایات فـ ٤ ، س ١) .
- ٢- لفيفة II (نهایات ص ٤ ، س ٢) .
- ٣- لفيفة III (نهایات ح ٤ ، س ٣) .
- ٤- مغنطيس دوار .



شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطي لترتيبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك



شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثي الأطوار

شكل ١٩٨ : وضع الليفة

١ - أجزاء الموصل الفعالة لثلاث المغنطيس الكهربي .

٢ - التوصيلات (مثل س ، ش) .

عندما يدور المغنطيس في مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور 120° ، ويبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبي بينها فرق طور مقداره 120° .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار بفاعلات حثية ، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثي الأطوار (الشكل ٢٠٠) .

ويعتمد التردد الذي يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثي الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب (مغنطيس واحد بقطب حثي واحد وبقطب شمالي واحد) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠ د/ث ، تكون سرعة الدوران :

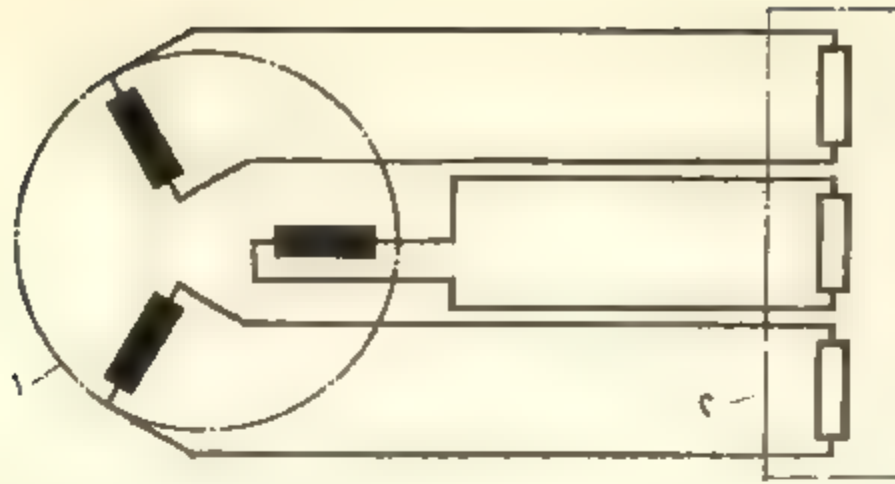
$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times 60}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$= \frac{60 \times 50}{1} \times \frac{1}{60} = 50 \text{ دورة في الدقيقة}$$

يلور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠ د/ث .

مثال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعي الأقطاب ، مصمم لتوليد تيار ثلاثي الأطوار بتردد $50 \frac{2}{3}$ د/ث .



شكل ٢٠٠ :

نظام ثلاثي الأطوار مفتوح

١ - لفيفات المولد .

٢ - حمل على هيئة

مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

$$\text{التردد} = ١٦\frac{2}{3} \text{ د/ث}$$

المطلوب : سرعة الدوران

الحل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١٦\frac{2}{3} \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{٦٠} \text{ دقيقة}$$

$$= \frac{٨٠ \times ٦٠}{٤} \times \frac{١}{٦٠} \text{ دقيقة}$$

$$= ٢٥٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة في الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا :

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة النجمة :

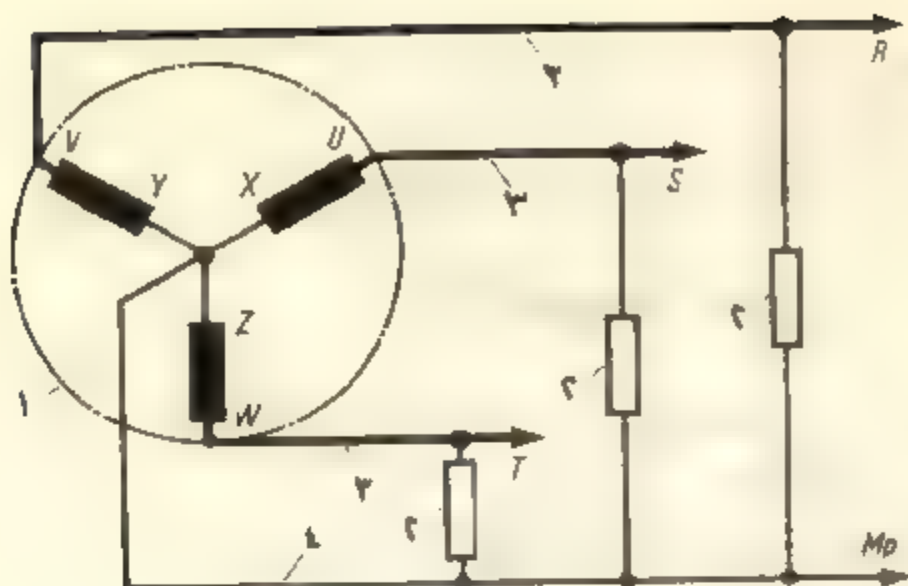
يحتاج النظام المفتوح الثلاثي الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل ، فعند

توصيل لفيفات المولد توصيلاً متداخلاً ، يكتب بأربعة خطوط بجهدين مختلفي القيمة .

وسنؤخذ في الاعتبار هنا يمثل هذا النظام ذي الأربعة أملاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات

الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرفقة

لتميز بينها بالرمز س X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك في توصيلة نجمة

- ١ - لفيفات المولد .
- ٢ - حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل ن .
- ٣ - موصلات خارجية R ، T ، S ، ث

نفرض أن هذا النظام ذي الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .

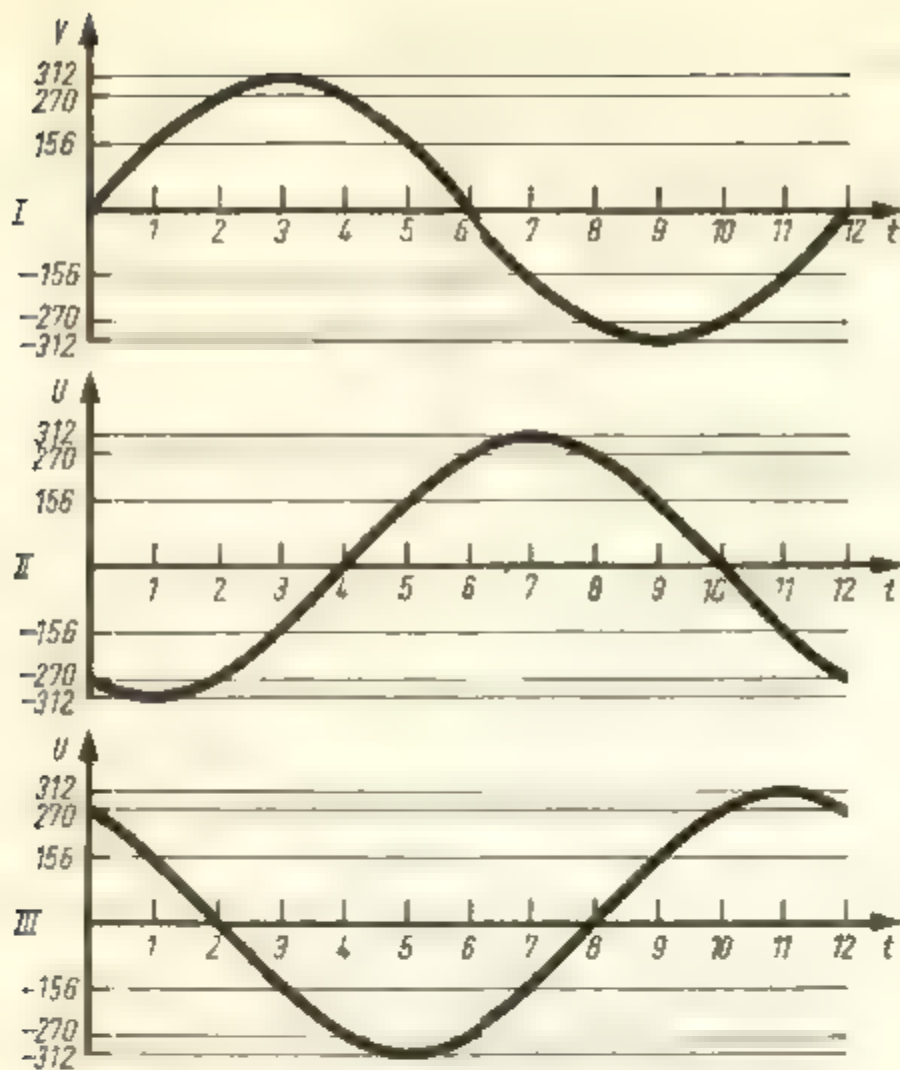
وعادة يمكن إختيار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية . والسبب في هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذي يشمل جدولاً به حاصل جمع الجهود الجزئية في نفس الأطوار .

يبين هذا الجدول ، أنه في أي لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود في توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه في جميع الحالات الثلاثة (وهذا نادراً ما يحدث عملياً) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحوال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

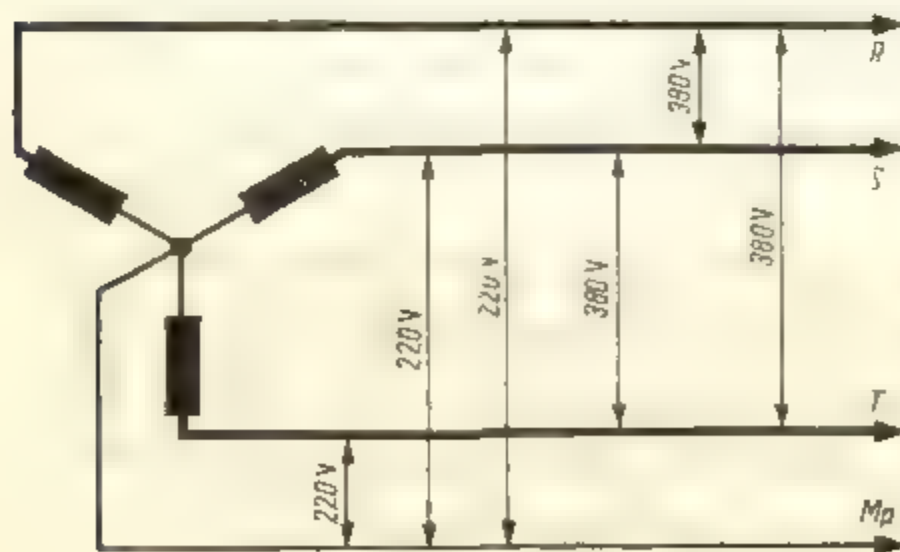
ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أي أنه يكون هناك توصيل كهربائي بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضروري لتوفير الوقاية ضد اللمس للعارض (التآريض الواقى) .

وإذا كان لفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، نفس المقنن ، يكون للجهود المنتجة في هذه لفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	-156	270	-312	-270	-156	0
II	-312	-270	-156	0	156	270	312	270	156	0	-156	-270
III	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ :
منحنيات الجهد لتيار
متردد ثلاثي الأطوار
وحاصل جمعها



شكل ٢٠٣ :
شروط الجهد في أنظمة
الأربعة أسلاك
ج = ٢٢٠ فولت
ج خط = ٣٨٠ فولت

ينتج أن جهود الأقطار الثلاثة تكون متاحة، وهي J_M د $(J_{MP} - R)$ ، J_N ، J_P ت $(J_{MP} - T)$ ، J_N ث $(J_{MP} - S)$. (J_{MP}) تعني النقطة الوسطى ، ويقصد بها موصول المتبادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة جهود بين الخطوط $J_{خط}$ أو يعطى جهوداً بين طور و طور وهي J_{RS} ، J_{RT} ، J_{ST} . وإذا كانت القيمة الفعالة لجهود الطور هي ٢٢٠ فلت ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور و طور $J_{خط} = ٣٨٠$ فلت .

بين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين J و ρ بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .

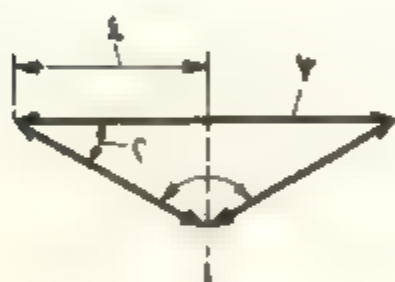
$$\frac{\text{ج خط}}{2} = \text{ج} = \text{جنا} = 20$$

ج خط = ۲ × ج × جتا ۳۰°

$$\sqrt{\frac{1}{r}} \times 2 \times r = 2\sqrt{r}$$

$$\sqrt{r} \times 2 = 14.2$$

ج خط = ۱,۷۳ × ج



شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد بجهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

١ - جهود الأنوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

٢- زاوية ٢٠°

۲ - جهد الخط ج

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

الجهود بين طور وطور ، في نظام ثلاثي الطور ، في توصيلة نجمة تساوي ١,٧٣ مرة جهد الطور ج .

ولقد أفادنا النظام الثلاث الأطوار بأربعة أسلاك في تكوين تربيّات الدائرة الآتية :

توصيلة أحادية الأطوار - تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

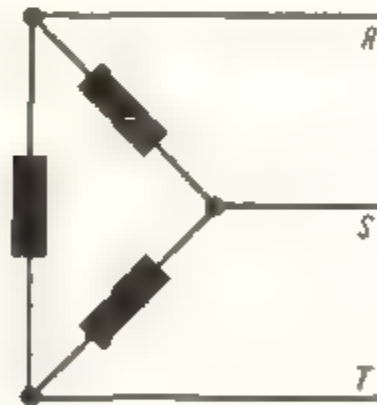
توصيلة ثنائية الأطوار - المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل والتيار المتردد موصلة بين موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار - المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار ووحدات التسخين الصناعية ذات المخرج العالي ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة الدلتا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد في توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات خارجية (R ، S ، T) وتبعاً لذلك يكون للمروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شدة التيار في دائرة كهربائية مقفلة (ولدورة المقفلة تعبر آخر لتوصيلة الدلتا) . ودائماً ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هي الحال بالنسبة للجهود في توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$I_{خط} = \sqrt{3} I_{طور} ، I_{خط} = 1.73 \times I_{طور}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل T خط في نظام ثلاثي لطور في توصيلة دلتا تساوي ١,٧٣ مرة شدة تيار الطور .

مثال :

قيمت شدة تيار T فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتا . أوجد شدة التيار في لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار المرحل ت خط .

المطلوب : تيار الطور ت طور

الحل :

$$I_{\text{خط}} = I_{\text{مرحل}} \times \sqrt{3}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} , I_{\text{طور}} = \frac{120}{1.73} \text{ أمبير}$$

$$I_{\text{طور}} \approx 70 \text{ أمبير}$$

لقيمات المولد محملة بتيار قيمته حوالى 70 أمبير

(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار :

نص في (القسم الأول - الفصل الثانى عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادى الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$P = I \times V \times \cos \phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز في العلاقات هي للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$P_{\text{طور}} = I \times V \times \cos \phi$$

ولتيار المتردد الثلاثى الأطوار :

$$P = 3 \times I \times V \times \cos \phi$$

ولنبعث الآن عن التأثير الذى تبذله ترتيبية الدائرة الكهربائية المخططة على تعيين القدرة في نظام تيار متردد ثلاثى الأطوار :

توصيلة دلتا

توصيلة نجمة

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

ومن هذا يتبع :

$$\text{قد} = 3 \times \frac{\text{ج خط}}{3} \times \text{ت خط} \times \text{جا} \quad \text{①}$$

$$\text{قد} = 3 \times \text{ج خط} \times \frac{\text{ت خط}}{3} \times \text{جا} \quad \text{②}$$

وباحتصار كتبنا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثى الطور :

$$\text{قد} = 3 \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جا} \quad \text{③}$$

$$\text{قد} = 1,73 \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جا} \quad \text{④}$$

مثال :

ما القدرة المحولة في نظام تيار متردد ثلاثى الطور ، إذا كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور و طور قيمته ٣٨٠ فلت ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هي ٠,٧٨

$$\text{المعطيات :} \quad \text{ج خط} = 380 \text{ فلت}$$

$$\text{ت خط} = 130 \text{ أمبير}$$

$$\text{جا} = 0,78$$

المطلوب : القدرة قد

الحل :

$$\text{قد} = 1,73 \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جا} \quad \text{⑤}$$

$$\text{قد} = 1,73 \times 380 \times 130 \times 0,78$$

$$\text{قد} = 63466 \text{ واط ، قد} = 63,466 \text{ كيلوواط}$$

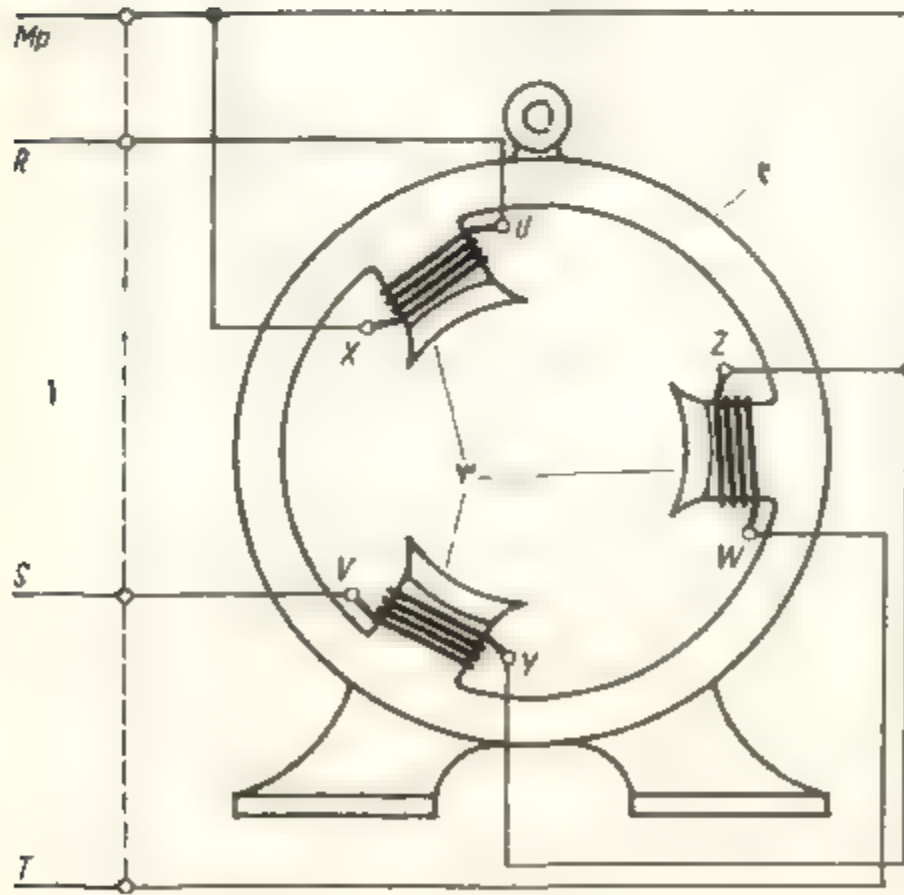
القدرة في هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثى الأطوار ٦٣,٥ كيلوواط تقريبا .

(د) المحسب الدوائر :

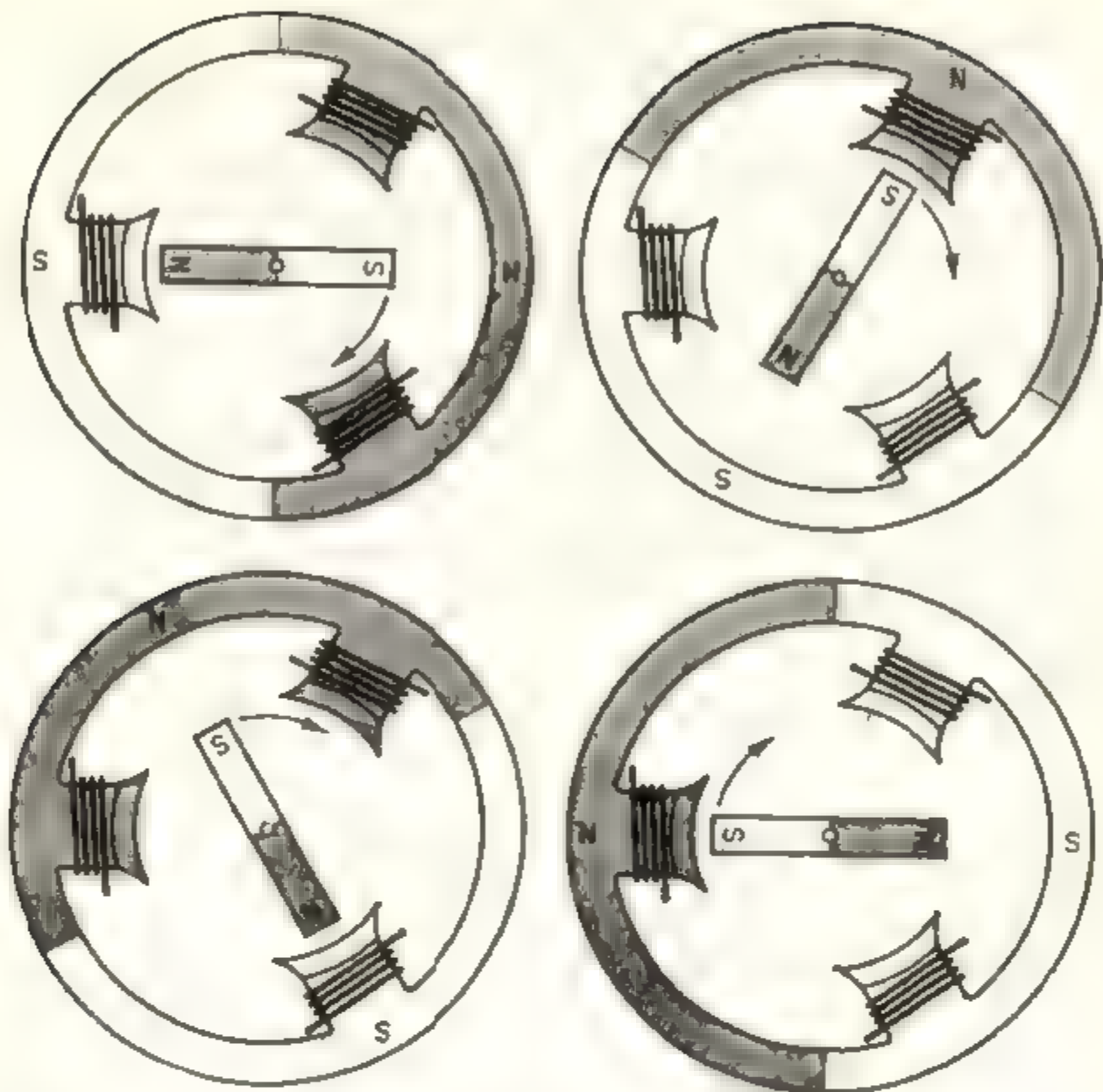
يُصاحب التيار المتردد ثلاثى الأطوار ظاهرة تسمى في الاعتبار . حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلي :

عند دراسة جوهر المغنطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغنطيسي في الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن اعتبار ليعقات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بحث فيها جهد ، وفي نفس الوقت يتكون مجال مغنطيسي حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل (١٩٧) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغنطيسي للمعطيس الدوار ، يدور مجال مغنطيسي آخر في اجزاء الثابت من المولد ، أي عند أقطب الفيقات . ولهذا المجال الدوار الثاني أهمية غير ذات بل بالنسبة للمولد نفسه . وعن كل ، فإن هذه لظاهرة التي تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائي بالشكر (٢٠٦) تمثيل تخطيطي للجزء الثابت (العضو الساكن) لمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار ، موصل بنظام ذي أربعة أسلاك . وتكون الفيقات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها ١٢٠° . وعندما تشغل ترتيبية الدائرة هذه فإن المجالات المغنطيسية ذات اقطبية المغنطيسية المترددة والتي تتبع دورية التردد تكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن
ذو ثلاثة ملفات موصل
بنظام ذي أربعة أسلاك
١ - نظام ذو أربعة أسلاك.
٢ - جسم من حديد مغنطيسي.
٣ - ملفات .



شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار في مثل هذه الترتيبة ، وتنتج إبرة مغناطيسية مرتكزة عند مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار (التي تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، عند تردد $d = ٥٠$ د/ث) .

ولقد أمكن الانتفاع بفوائد المجال الدوار في المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللامترامنة . وسيتناقص كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا في الاستخدام في الصناعة ، في الجزء الثاني .

القسم الثاني

تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

المفصل الاول

الاختبار والقياس

يميز بين الاختبار والقياس في الهندسة الكهربائية ، كما هي الحال في مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو طرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ (نعم أم لا) هل هناك قطع في الخط (نعم أم لا) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة في الوحدة .

أمثلة :

الكمية	القيمة العددية	الوحدة
الجهد	•	فولط (• فولط)
شدة التيار	١٢٥	أمبير (١٢٥ أمبير)
المقاومة	٢٥٠٠٠	أوم (٢٥ كيلو أوم)

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

الفصل الثانى

معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند اختبار نظام جهد . يفترض أنه يتعدى ٤٢ فلت ، يجب استخدام معدات اختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الاختبار التى يصممها الفرد ، والتى تكون على هيئة دراة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدرا للخطر .

١/٢ - اختبار اجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

(١) الاختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل (٢٠٨) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذي يعرف أيضاً بمبين القلبية ، ويصلح لمجهود بين ١٠٠ فلت ، ٢٥٠ فلت . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لكي يمكن إستخدامه كأداة .

يوضع المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الاختبار جزء مكهرب (على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الاختبار طرف أو ملاصق مفتاح كهربائى) . بينما يلمس الشخص المختبر ملاصق الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلت يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلت .

وبحائب اختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متردداً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل (٢٠٩) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر (١) ، وعند الجهد المتردد (٢) .



شكل ٢٠٨ :
معين القطب

١ - طرف الاختبار .

٢ - مقاومة (حوالى من ٢ إلى ٣ ميجا أوم) .

٣ - مصباح متوهج .

٤ - ملاصق إصبع .



شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد
١ - إشارة في حالة التيار المستمر .
٢ - إشارة في حالة التيار المتردد .

ف عند الجهد المستمر يشع الضوء إلكتروود واحد من المصباح المتوهج ، وفي حالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكتروودان بالتناوب .
وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند ارتداد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا متطابقاً بين الإلكتروودات

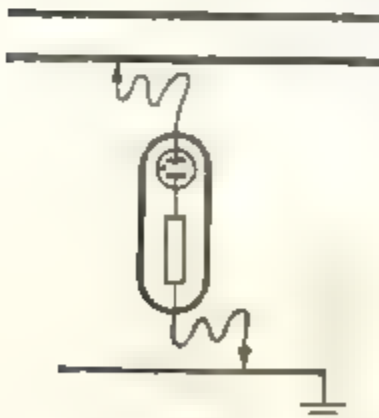
(ب) الاختبار بواسطة مبدن الجهد :

يطلق أساس تشغيل مبدن المعطى أيضاً بالنسبة لمبدن الجهد ، مع عدم وجود ملاس إصبع ، ولكن يستخدم بدلا منه ، طرفا اختبار ممزولين ، لإختبار الشيء المراد اختباره . ويبين الشكل (٢١٠) إستخدام مبدن الجهد ، في اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن إستخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائي ، أو شريحة طرفية في محرك كهربائي أو لوحة مفاتيح كهربائية .

وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهي الإختبار بالنسبة للأرض (الشكل ٢١١) . ويصح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط (من عدة خطوط) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضروري إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بجهد ٢٢٠ فولت في نظام بأربعة أسلاك (لا يحدث هذا الخط عند اختبار تشغيل لمبدن الجهد)

٢|٢ - إختبار الإستمرارية بواسطة معدات إختبار بسيطة :

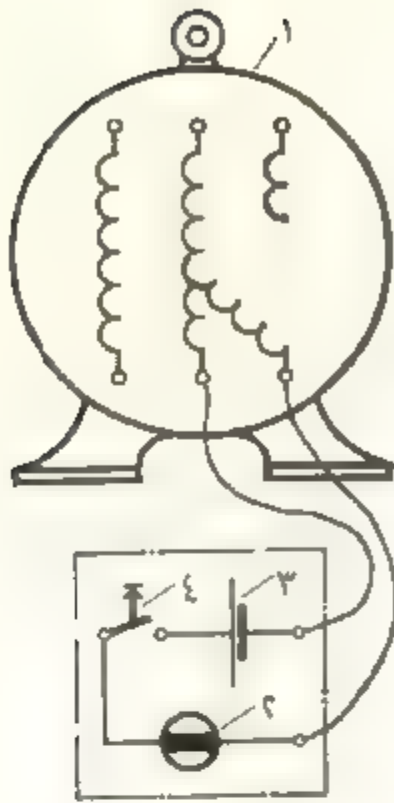
تكون أى تركيبات كهربائية أثناء تشغيلها دائرة كهربائية مغلقة . وتشكل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية في التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة . أو تلامس خاطئ .



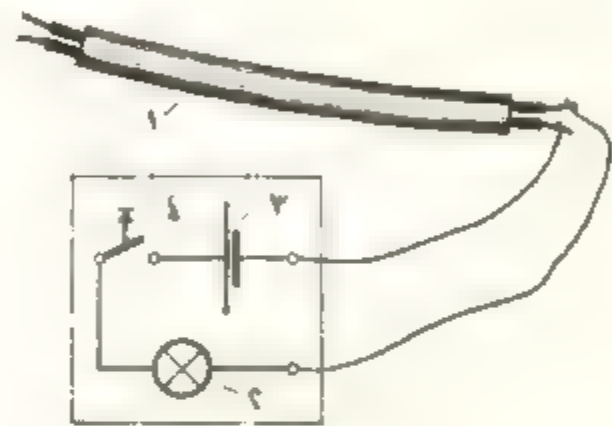
شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبدن الجهد



شكل ٢١٠ : اختبار الخط للخط بواسطة مبدن الجهد



شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر الجهد .
٢ - زنان . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .



شكل ٢١٤ : اختبار قصر
اللفات لمحرك كهربائي
١ - عينة اختبار .
٢ - إشارة مرئية .
٣ - مصدر الجهد .
٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر في كبل
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر الجهد .
٢ - مصباح متوهج . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إشارات الاستمرارية ، وتجري عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الاختبار البسيطة من مصدر الجهد (عادة عمود حلقات) ومبين كصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات نتي بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة ورنان . ويجب إحتار المعدات التي يتوقع إحتوائها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بعض أمثلة لاختبارات الاستمرارية .

الفصل الثالث

تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشير في مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة (القسم الأول - الفصل الخامس) ، إلى الأميترات والمولطيمترات ، دون التعرض لتعاصير تصميماتها ، وطرق تشغيلها . وفيما يلي وصف لأهم أجهزة القياس المستخدمة في الهندسة الكهربائية وأدائها .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضها البعض ، ومع الأخذ في الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنها تختلف في بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لحدى القيم العددية للكميات المراد قياسها ، وبالنسبة بدقة القياسات ، ولطرق القياس .

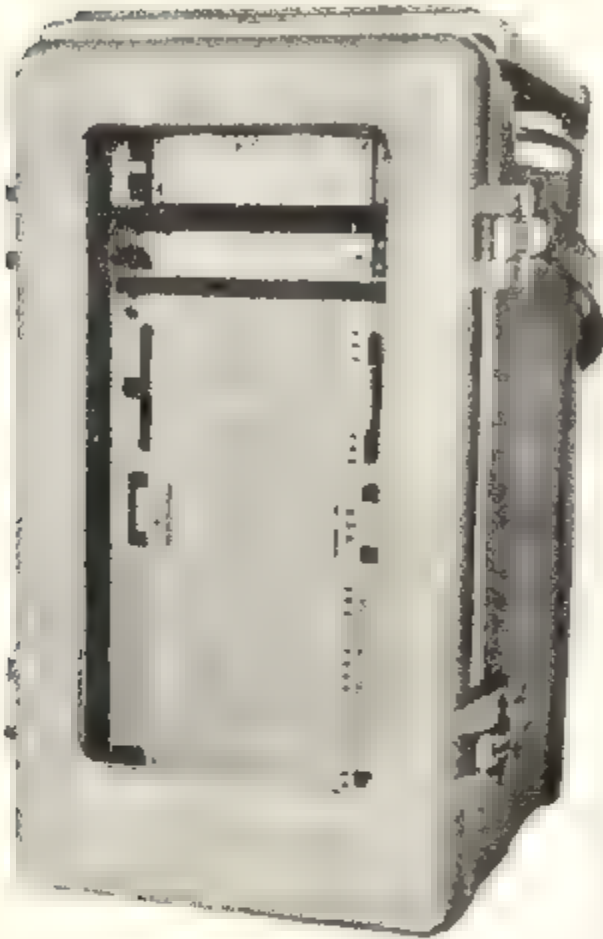
١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس :

فيما يلي حصر لبعض الكميات يراد قياسها ، وأجهزة القياس المناسبة للعرض المطلوب .

الكمية المراد قياسها	جهاز القياس
شدة التيار	أميتر ميزان أمبير
الجهد	مولطيمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق
المقاومة	أومتر جملف متقاطع ، قنطرة قياس مقاومة .
التردد	جهاز قياس التردد ريشة
القدرة	واطمتر

٢١٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محدداً بدقة بقدر الإمكان (ونفس النظر عن الكميات المراد قياسها) . كما تطلب أجهزة القياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، في مراحل تطورها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائي
(VEB Elektro Apparate- Werk
Berlin-Treptow G D R)

شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفيما يلي وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً
في الإستخدام :

أجهزة بيان كهربائية :

وتبين القيمة للكمية المراد قياسها بواسطة مؤشر يتحرك عن تدريج (الشكل ٢١٥) .

أجهزة مسجلة كهربائية :

وتسجل نبيلة تسجيل ، تناظر حركتها إنحراف مؤشر ، القيمة المقاسة للكمية المراد قياسها ،

على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة (الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧)

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

تصمم هذه الأجهزة لتركيب في خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللاستخدام الثابت .

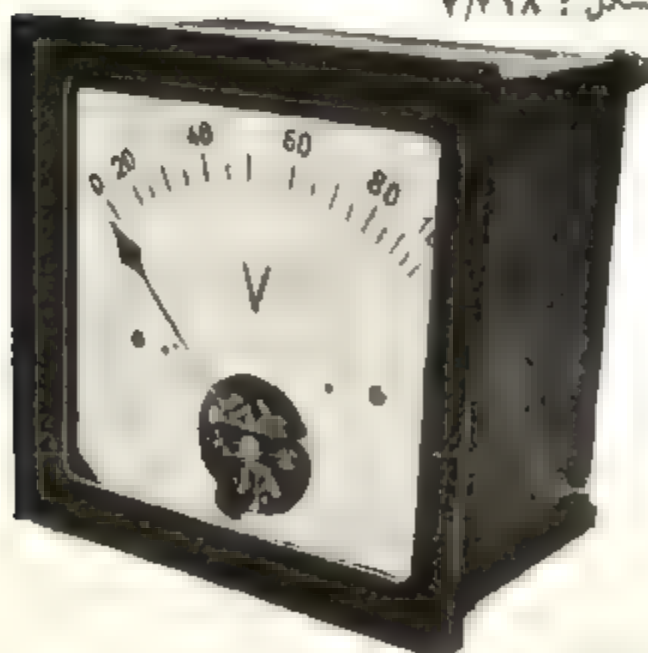
ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منها شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منها شكل مستطيل أو مربع (الشكل ٢١٨) .



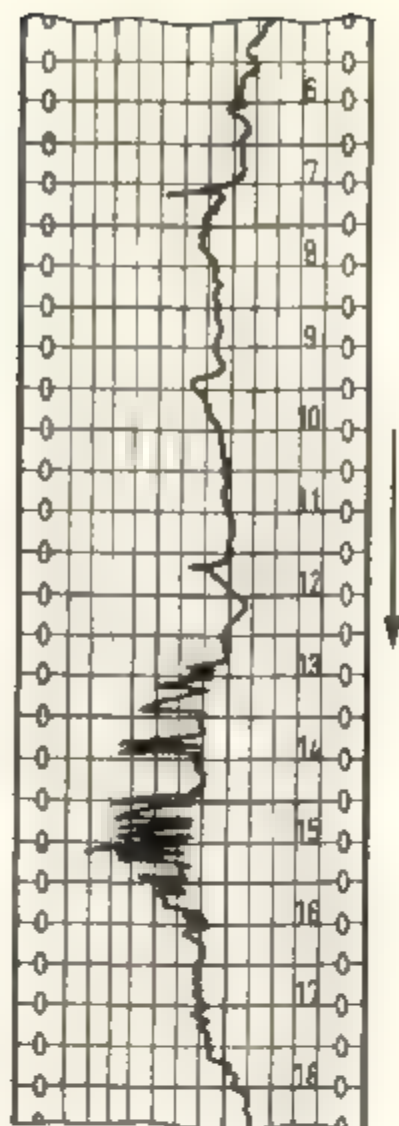
الشكل : ١/٢١٨



الشكل : ٢/٢١٨



الشكل : ٣/٢١٨



شكل ٢١٧ : رسم بياني لسجل لدرجة
(الأرقام تبين الزمن)

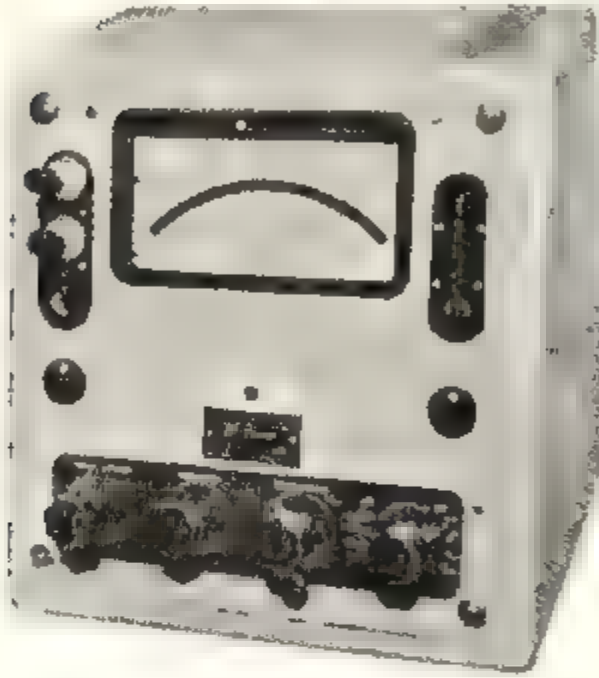
- شكل ٢١٨ :
أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية
- ١ - شكل مستدير .
 - ٢ - شكل مستطيل .
 - ٣ - شكل مربع .

أجهزة نقل كهربائية :

وتستخدم في التركيبات الكهربائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصاميم لأجهزة القياس النقل ، مناسبة لقياس عدة كيت (أجهزة قياس متعددة الغرض) (الشكل ٢١٩) .

أجهزة قياس كهربائية معملية :

ويجب أن تؤخذ في الاعتبار الدقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة تكون تداريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرأيا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقل (الشكل ٢٢٠) .



شكل ٢٢٠ : أجهزة لياس معملية



شكل ٢١٩ : جهاز نقل

(١) دقة القياس :

يتميز بين الأجهزة الدقيقة والأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقاً لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدرج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بها .

درجة الدقة	٠,١ ٠,٢ ٠,٥	١ ١,٥ ٢,٥
التأثير على النتيجة (في المائة)	٠,١ ٠,٢ ٠,٥	١ ١,٥ ٢,٥
أجهزة دقيقة		أجهزة صناعية (تجارية)

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثال التالي :

ما حد الخطأ معبراً عنه في المائة للملصمتر ، درجة دقته ٢,٥ ، و به مدى تدريج ١٠٠ فقط ؟

الجهد (ب. فقط)	الإعراج (بالملصم)	حدود الخطأ (نسبة مئوية)
١٠٠	$\pm 2,5$	٢,٥٠
٨٠	$\pm 2,5$	٢,١٢
٦٠	$\pm 2,5$	٤,١٦
٤٠	$\pm 2,5$	٦,٢٥
٢٠	$\pm 2,5$	١٢,٥٠
١٠	$\pm 2,5$	٢٥,٠٠

وتؤدي هذه الأجهزة إلى إنحرافات تؤخذ في الاعتبار في المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب استخدام المدى العلوي فقط للجهاز في القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد في المثال المعطى عليه للقيم أقل من ٨٠ فقط .

٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار :

(أ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً في الاستخدام ، على أساس المغناطيسية الكهربائية . وتبدل المجالات المغناطيسية قوة على جسم متحرك ، يكون تحركه (إنحرافه) هو قياس الكمية المراد قياسها . وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية (مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق ، المبين وصفه بالقسم الأول - الفصل الثالث) . ونادراً ما يستخدم تأثير الحراري للتيار الكهربائي في أعراض القياس . وفي هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هي القياس للكمية المراد قياسها .

(ب) أجهزة القياس بمعدنية متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مغناطيسية ، أو ملفات مستديرة .

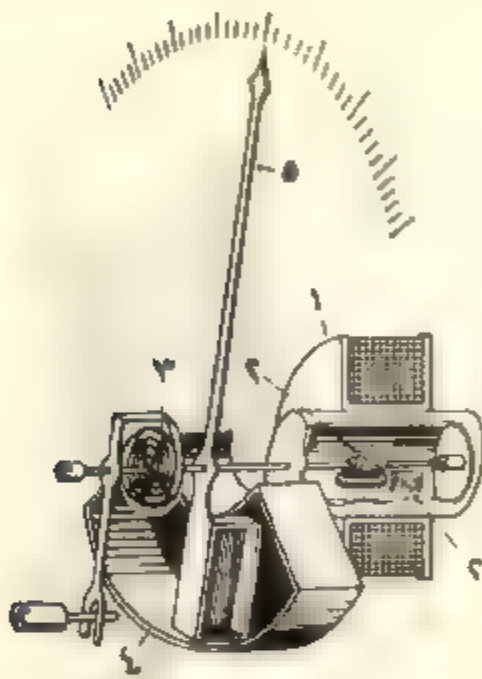
آليات حركة الملفات المغناطيسية :

بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مغناطيسية . ملف ملف بطريقة ما ، بحيث تكون لفتته شكل الشق . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشق بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبرنبرك لوابق الحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضادة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحريك المؤشر بنعومة . ويستخدم في هذه الحالة نظام مضادة هوائي . وعندما يمر تيار عبر الملف المغناطيس ، يسحب اللوح الحديد داخل شق الملف إلى مدى معين .

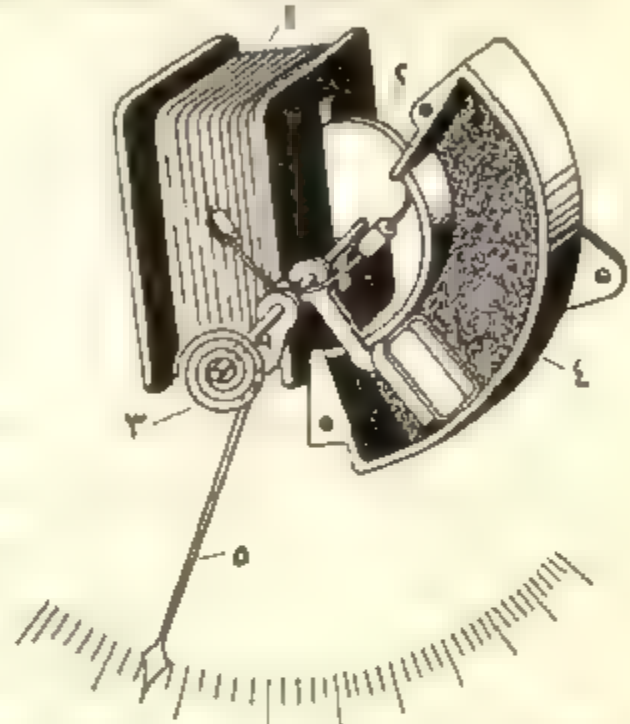
وبإجراء قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التي يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .

آليات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح في شكلها وباستخدامها للتأخر المغنطيسي . فيوجد لوح حديدي صغير ثابت وآخر متحرك في الحيز الداخلي الكروي لصدوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر ودبوك لولاي وب نظام مضادة هوائي .



شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بجهدية متحركة
ملف مستدير
١ - ملف مستدير .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - دبوك لولاي .
٤ - نظام مضادة هوائي .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .



شكل ٢٢١ : جهاز قياس بجهدية متحركة
ملف مفلطح
١ - ملف مفلطح .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - دبوك لولاي .
٤ - نظام مضادة هوائي .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمسك اللوح الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب انحراف المؤشر

تطبيقات أجهزة القياس بجهدية متحركة :

تكون آلات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والشار والجهد المتردد ويكون لأجهزة القياس بجهدية متحركة ذات التصميمات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية (لشكل ٢٢٣ - ١) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية (الشكل ٢٢٣ - ٢) .

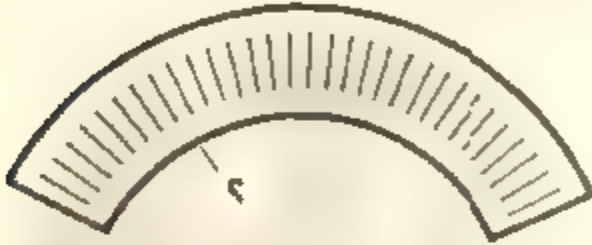
ويمكن الحصول على تدريج خطي بتشكيل خاص للوح الحديد حيث أن عزم التواء يتناسب مع مربع شدة التيار .



شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج

١ - قسم مربع .

٢ - قسم خطي .



شكل ٢٢٤ : جهاز قياس بملف متحرك

١ - مغناطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .

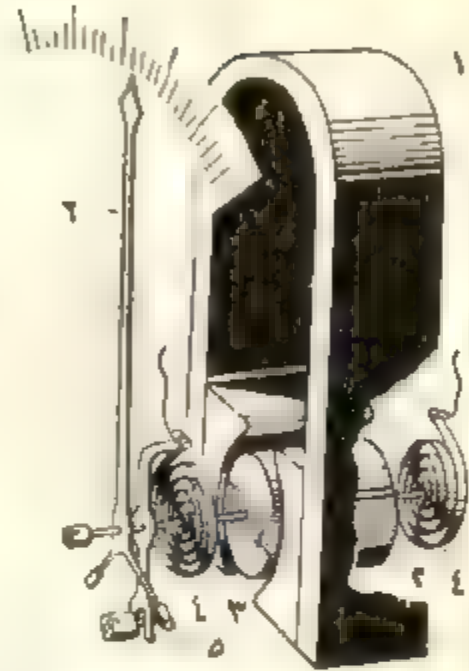
٢ - قلب حديد .

٣ - ملف متحرك .

٤ - زفير كات لولبية .

٥ - تصحيح الصفر .

٦ - مؤشر يتحرك على التدريج .



وتكون القدرة التي تتطلبها آلية التحريك هذه عالية نسبياً ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية . علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعني أن مقاومتها تتغير بتغير التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بحديدية متحركة يحصر في دوائر التيار المتردد (تردد ٥٠ هز) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

(ج) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميماً لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير في نطاق مجال حدوة حصان مغناطيسي دائم ، ترود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لشفرة الهواء بين أطراف القطب والقلب الحديدي ما يسمى بالمجال المغناطيسي المتحانس في اتجاه نصف القطر . يركب في شفرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود محور هذا الملف بمؤشر .

يفتدى التيار خلال ردوكين لوليين لها لغات ملعوفة بتجاه عكسي . ويمكن بواسطة هدين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعند يسرى تيار مستمر في الملف ، يفتح عزم لي يتوقف إتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هي دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدريج ، تطف آلية الحركة عند تعريضها لحمل من إتجاه تيار حطى ، وفترة طويلة .

تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آليات الحركة هذه تكون عالية الحساسية لكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية (حوالى ٠,٠٠١ مل أمبير عند انحراف كس على التدريج) ، فتستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه البنى التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسي لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم الملى تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم الملى مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأنقسام خطية للتدريج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة في أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عدة مضاعفة التيار الدوامي . ونصاد المجالات المغنطيسية الدوارة التى تتكون في قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

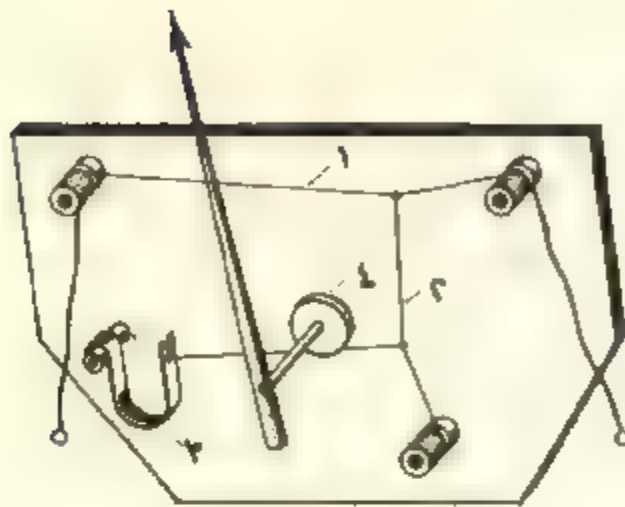
(د) أجهزة القياس بسلك ساخن :

يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسى لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك التوتر موضوع بين زنبرك التوتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير (يستطيل سلك التسخين ، بين ينكش الزنبرك) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهود المستمرة والتيار المستمر ، وكذلك للجهود المتردد والتيار المتردد . وعالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط مع قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كمية كبيرة نسبيا من الحرارة (حوالى ٣٠٠ م°) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحير . إلا أن لآلية الحركة هذه فائدة طعم الإعتماد على التردد .

وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، إذا يرود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطي لجهاز لقياس بسلك ساخن

- ١ - سلك تسخين .
- ٢ - سلك توتر .
- ٣ - زنبرك توتر .
- ٤ - بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة اقياس بسلك ساخن بأنظمة معادلة بالتيار الدوامي . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، في يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

(٥) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائي) . وجهاز قياس فرق الجهد في مجال احدث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية (القسم الأول - الفصل الثالث) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، وآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

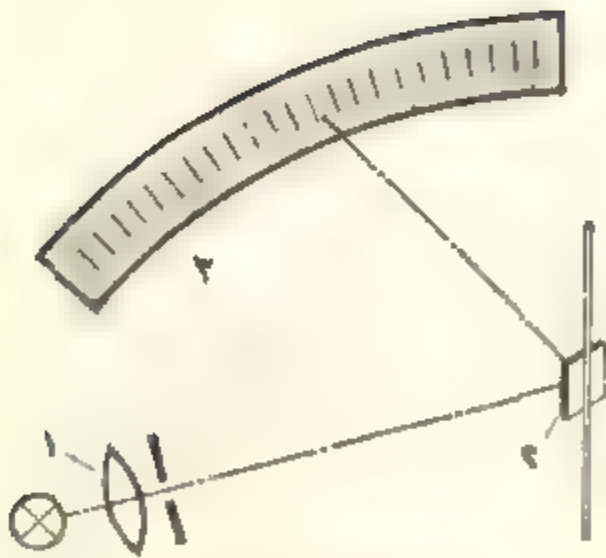
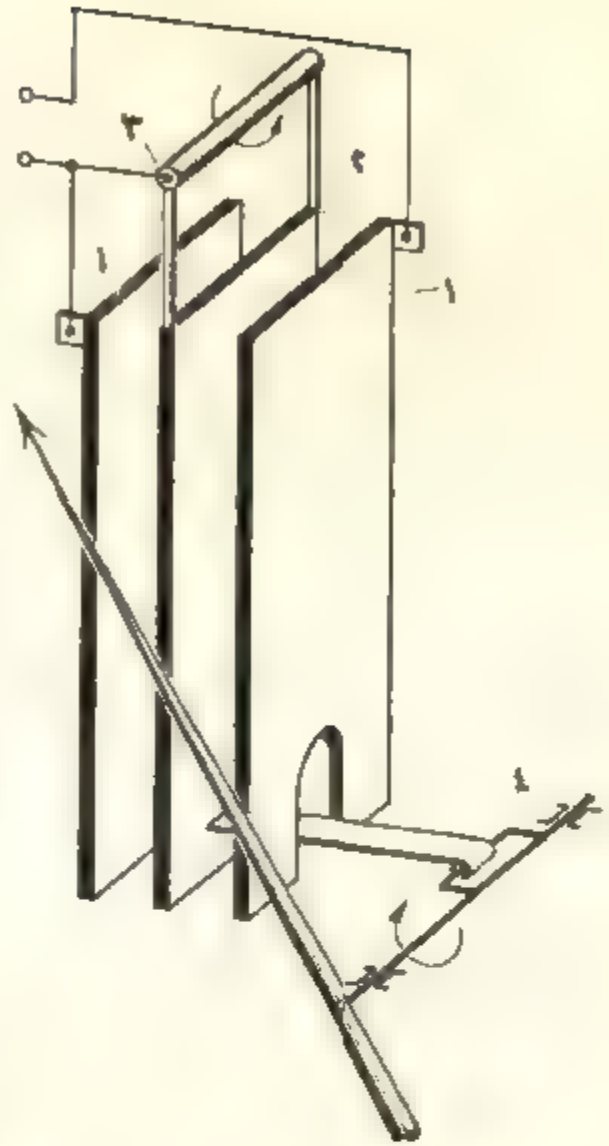
آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

يبين الشكل (٢٢٦) التصميم الأساسي لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكب على سطحي اللوحين كـبتين .

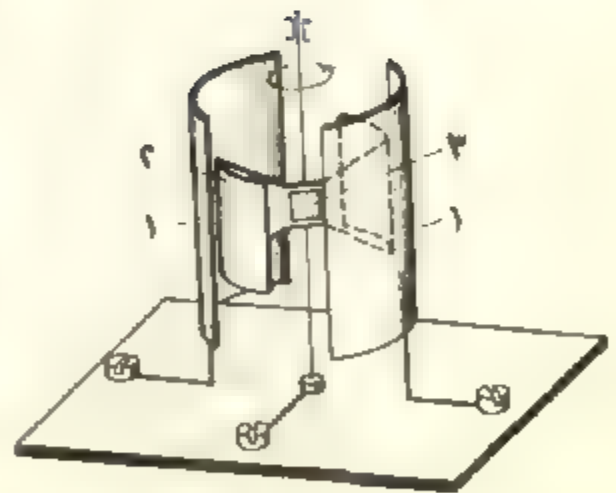
تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور موصل بمؤشر (في غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغناطيس لأغراض المضادة) .

فإذا سط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عنده إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية
من نوع الوح
١ - ألواح ثابتة .
٢ - لوح متحرك .
٣ - نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .
٤ - ذراع الرافعة والمحور والمؤشر .



شكل ٢٢٨ : المؤشر المضي لأجهزة القياس
١ - مصدر ضوء وعلمة .
٢ - مرآة .
٣ - تدريج .



شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية
اسطوانية
١ - ألواح ثابتة .
٢ - قرنية الألواح المتحركة .
٣ - مرآة .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسي لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع روح من الألواح المستديرة ، متحركة بين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة في مركز المجموعة المتحركة . تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وبهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤشر ميكانيكي .

وتوضح نظرية البيان بالضوء في الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدريج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدريج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدريج تبعاً لذلك .

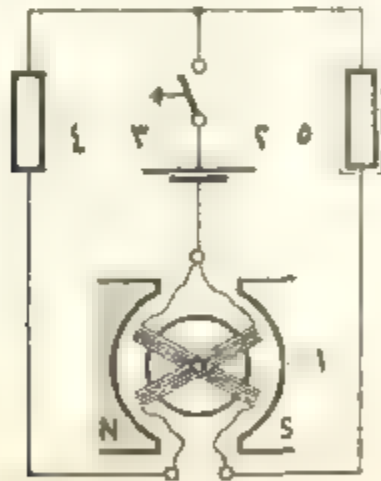
تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

هذه لأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المنسرة والمترددة ، وهي لا تصلح للإستخدام في قياسات الجهد المنخفض . وتستخدم هذه الأجهزة أولاً في معامل وحجرات إختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسلطة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدريج يزود بأقسام لوغاريتمية .

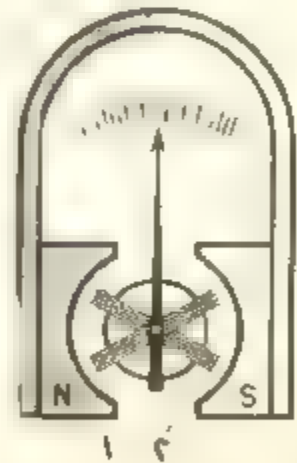
٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التي تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التي تشتمل عليها أجهزة القياس بمحيدة متحركة ، وأجهزة القياس بجلف متحرك ، مع الأخذ في الاعتبار الأسس المغناطيسية الكهربائية التي تحكم حركة هذه الأجهزة .

وبما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقنطرة المقاومة



شكل ٢٢٠ : رسم تخطيطي لدائرة جهاز قياس المقاومة بجلف متقاطع
١ - منظر قطاع لآلية الحركة .
٢ - مصدر الجهد .
٣ - مفتاح كهربائي بذراع .
٤ - مقاوم مقارنة م .
٥ - التي " المراد قياسه (مقاومة غير معروفة) .



شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع
١ - مغنطيس دائم بأقطاب على هيئة حدوة حصان .
٢ - ملف متقاطع .

(١) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطى لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بجديفة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من ليفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف الليفتين على إطار ملف واحد مشترك ولا يثبت في الملف المتحرك زنبرك لولبي ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الصط . يقضى التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة (وتكون عادة خوصا من الذهب) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضحا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفي كل ليفة مع طرف لأخرى ويؤدي هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخرى خلال المقام بين (٤ ، ٥) ، والمفتاح الكهربائي بسراج ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون الليفتين موصلتين على التوازي . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لى متصادة في الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيب الدائرة الكهربائية هذه (بتشغيل المفتاح الكهربائي بدراع) ، ينجع عزوم لى (يكون إتجاه أحدهما في إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون إتجاه الآخر في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة) وإذا كانت المقاومتان متساويتين ($M = M$) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لى في اتجاه عكسي ، ولكن بنفس القوة .

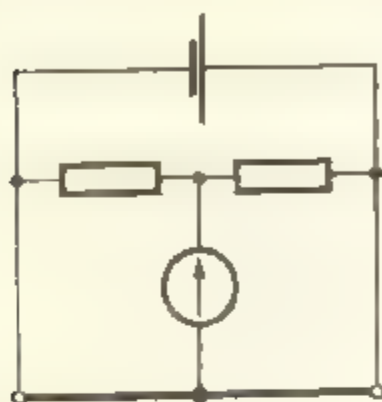
توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان لتيار المار خلال M (المقاومة المراد قياسها) له قيمة أص ، وهذا يمكن من تقسيم التدرج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط في مدى صغير للقياس

(ب) فنظرة القياس :

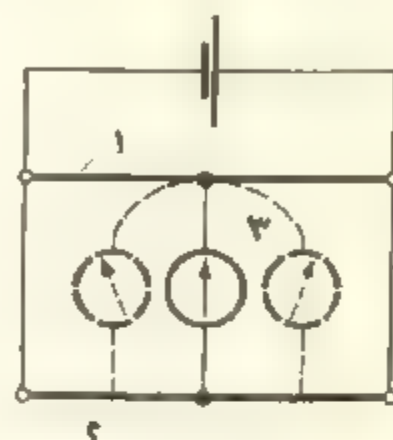
تصلح قناطر القياس التي تعرف أيضا بقناطر المقارنة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك يدور في أى اتجاه كآلية حركة . بين الشكل ٢٣١ أسس تشغيل فنظرة القياس . ويوصل سكان لهما نفس المقاومة على التوازي بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا في المركز ، بين سلكي المقاومة تماما ، فإنه لا يسرى تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المتقطعة في الشكل ٢٣١ ، يسرى تيار في جهاز القياس ويمكن ترتيب الدائرة الكهربائية أيضا بالكيفية المبينة في الشكل ٢٣٢ .

وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز قياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت للمقاومات وأسلاك المقاومة القيم المماثلة ، ويمر تيار في جهاز القياس فقط إذا كانت

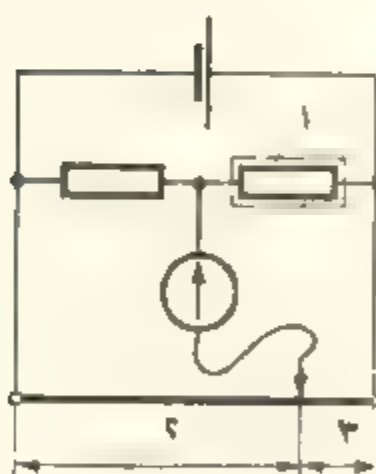
القنطرة غير متزنة . ويحدث ذلك عندما نستبدل بأحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيئة واحدة لجهاز لقياس كجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة (في نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة استبدله) ، حيث يقطع عندها التيار المار في السلك (الشكل ٢٣٢) .



شكل ٢٣٢ : قنطرة لقياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مقاوم واحد

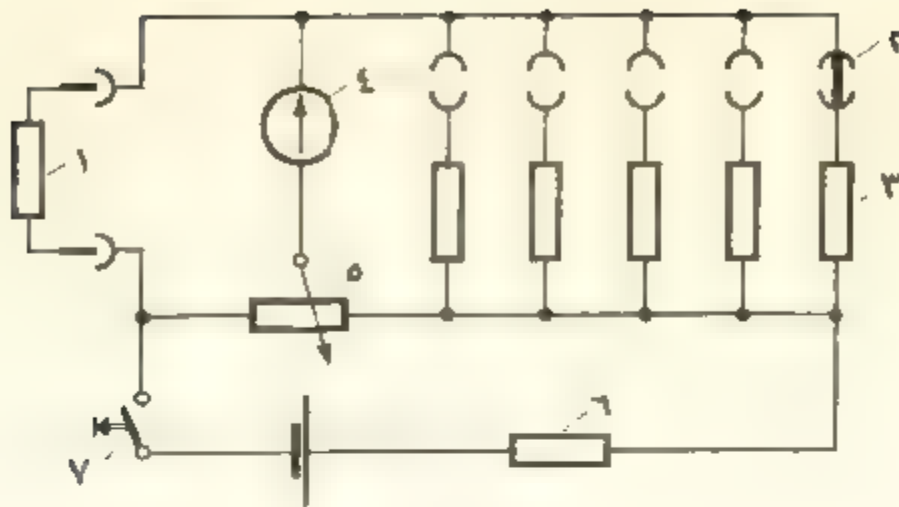


شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس
١ - سلك مقاوم .
٢ - نفس السلك المقاوم مثل ١ .
٣ - جهاز لقياس .



شكل ٢٣٣ : قنطرة لقياس بمقاومة مجهولة
١ - مقاومة مجهولة القيمة .
٢ - طول ١ من سلك المقاومة .
٣ - طول ٢ من سلك المقاومة .

في الدائرة المبينة في الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . في الشكل ٢٣٣ يكون طولاً سلك المقاومة غير متساويين ، لضمان إتزان القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

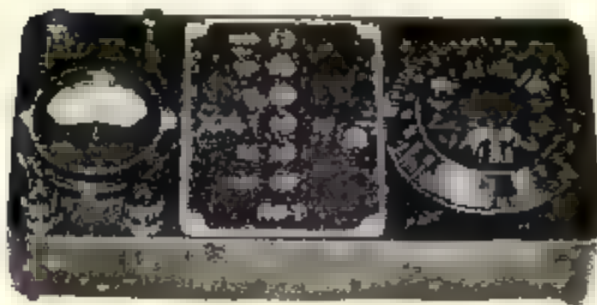


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطي لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

- ١ - المقاومة المطلوب قياسها .
- ٢ - ملاسات إصبع .
- ٣ - مقاومة قياس .
- ٤ - جهاز قياس .
- ٥ - مقاوم متغير .
- ٦ - مقاوم وافي .
- ٧ - مفتاح كهربائي بدراع .

وفي قنطرة القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة سلك ريوستات (مقاومة متغيرة) ، يزود زر إدارته بأرقام . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . ويتطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذي يحتوي عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قنطرة القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطي ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التحاري لقنطرة قياس صغيرة تستخدم في الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم

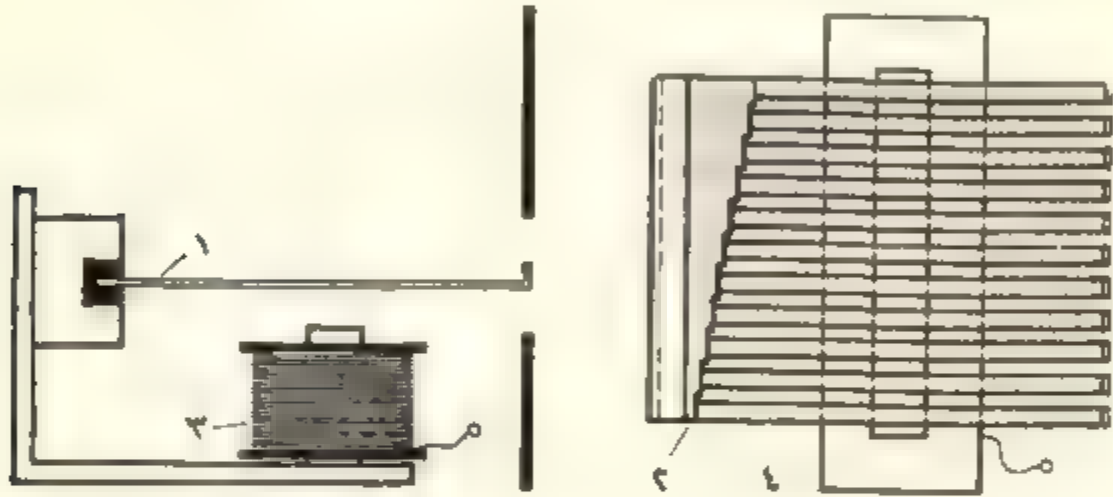
٥٣ - آلات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفي مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرياش ، بينما يفضل في مدى التردد العالي استخدام قنطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل في مجال هذا الكتاب .

وفيما يلي وصف لآلية الحركة بالاهتزاز أو بالريشة ، وهي أكثر شيوعا في الاستخدام

(١) جهاز القياس بالريشة :

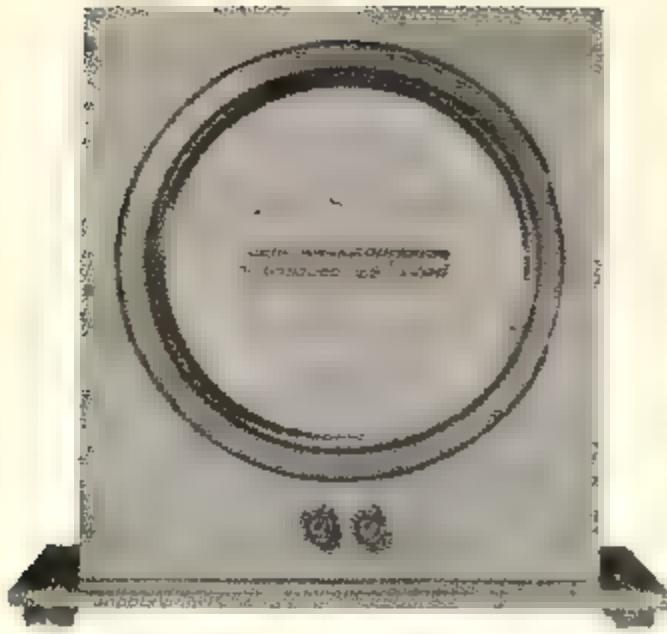
بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطي لآلية الحركة هذه . وهي مكونة من سلسلة من الريش الصلب (يكون عددها عادة ١١) ، وترتب أعلى مغناطيس كهربائي ، ويكون للرياش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .



شكل ٢٣٦ : رسم هيكل لجهاز قياس التردد بريشة

- | | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| ١ - ريّاش صلب . | ٢ - مسقط علوي لريّاش الصلب . |
| ٣ - مغناطيس كهربائي . | ٤ - مسقط علوي للمغناطيس الكهربائي . |

إذا ضبعت الرياش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الرياش ، والتي يكون تذبذبها الطبيعي ضعف تذبذب التردد في المغناطيس الكهربائي ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعني أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغناطيس الكهربائي ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة ، والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا ، أو تفشل في الحركة تماما . والشكل (٢٣٧ - ١) يبين المسقط الأمامي لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل (٢٣٧ - ٢) يبين المسقط الخلفي له .



شكل ٢٢٧ : جهاز قياس التردد بريشة
١ - مقطع أمامي .
٢ - مقطع جانبي .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية لتيار المتردد . ولهذا الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التي تجري على المولدات التي تعمل على التوازي .

٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام (في حالة التيار المستمر x ت ، وفي حالة التيار المتردد x ت x جيب تمام ϕ) ، مباشرة بواسطة آلات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللا حديدية وذات القلب الحديد مناسبة خصيصا لذلك . وفيما يلي وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية لا حديدية .

(١) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل (٢٣٨) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوي الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايته بزنبركات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبركات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك

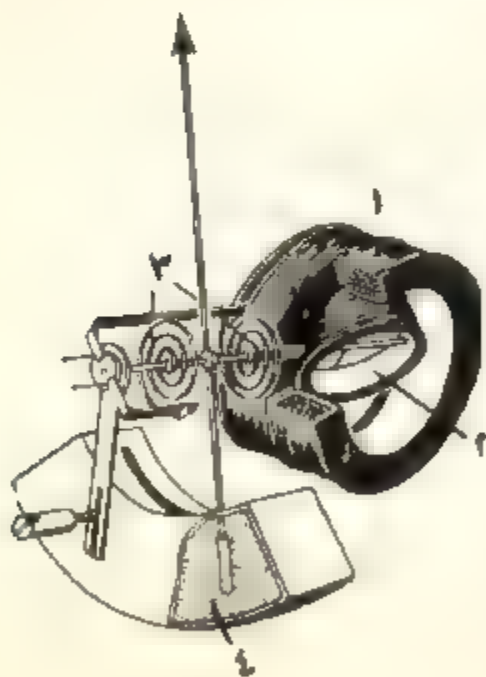
في حالة عدم وجود تيار عمودي على المحور المركزي الملف المستدير . ويركب على محور الملف المتحرك مؤشر ، ونظام مضادة هوائي .

وإذا وصلت الملفات على التوازي ، أو على التوالي ، أو لم توصل ، فذلك ليس بلدى بل . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالي المؤشر) إلى وضعه الأصل .

(ب) تطبيقات أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التي يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسب . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا في الهندسة الكهربائية .

وهي تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم الى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية الاحديدية فقط في الأماكن التي لا تتداخل فيها المجالات المغناطيسية معها (وعلى عكس هذا ، وأليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية في هذا المجال) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية

- ١ - ملف مستدير ثابت .
- ٢ - ملف متحرك .
- ٣ - زنبركات لولبية .
- ٤ - نظام مضادة هوائي .

٧/٣ - التقييم على أجهزة القياس (الشكل ٢٣٩) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للفرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا في أغلب الحالات تصميم المدي المسموح به لجهاز القياس الكهربائي . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،

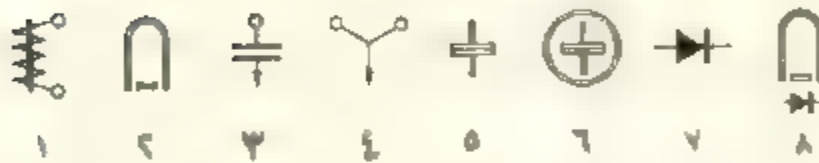
مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تمييزها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدريج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دولياً .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ - أ) .

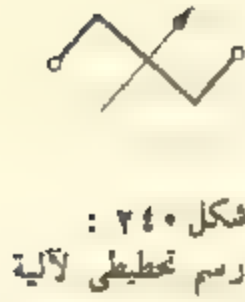
٨/٣ - إطالة مدى القياس :

تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بمحيدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك وبين الشكل (٢٤٠) الرمز التخطيطي لآلية الحركة .

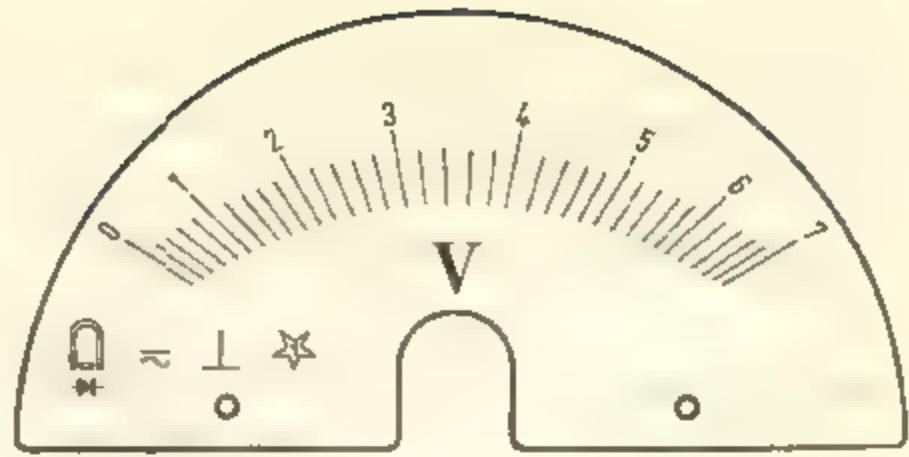
شكل ٢٣٨ أ :



الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بمحيدة متحركة	١٠	تصحيح الصفر
٢	جهاز قياس بملف متحرك	١١	تيار مستمر
٣	جهاز قياس إستاتيكي كهربائي	١٢	تيار متردد
٤	جهاز قياس سلك ساخن	١٣	تيارات مستمرة ومترددة
٥	جهاز لياس ديناميكي كهربائي لا حديدي	١٤	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بآلية حركة واحدة .
٦	جهاز لياس ديناميكي كهربائي بقلب حديد .	١٥	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بثلاث آليات حركة .
٧	مقوم جاف	١٦	وضع رأسى في الاستخدام العادى .
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف .	١٧	وضع أفقى في الاستخدام العادى .
٩	رمز جهد الاختبار (نجمة بدون رقم :	١٨	وضع مائل في الاستخدام العادى .
	٥٠٠ فلف ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠	١٩	وضع خمسة ، زاوية منصوص عليها .
	لفظ ... إلخ) .		



شكل ٢٤٠ :
رسم تحطيطي لآلية



شكل ٢٣٩ : أشلة لقرقيم على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدريب تين أن هذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف ، وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، وأنه يجب استخدامه في وضعه الرأسى فقط ، وأن جهد الاختبار هو ١٠٠٠ فلف

(١) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنها أحسن من غيرها إذا كان عزم لها المرتبط بكتلة العضو المتحرك (في هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، ومؤشر) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم الى الى كتلة العضو المتحرك يعول عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . وللمصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر في لوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم الى يجب أن يكون له أيضا قيمة معينة . هذا ترتفع القدرة التى تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ - يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ - يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة في الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية R_i للآلية في مربع شدة التيار I ، عند الانحراف الكامل على التدريب ، وعليه تكون القدرة التى تتطلبها آلية الحركة .

$$P = I^2 R_i$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى مطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التي تتطلبها آليات الحركة المستخدمة في النظميات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلت أقل . ويعبر دائماً عن هذه النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$.

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$	القدرة التي تتطلبها آلية الحركة ت _١ مالملي أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إحالة مدى القياس للفلطميات :

نعين قيمة المقاومة الداخلية م_د ، المتعلقة بمدى معين للقياس للجهد ج ، بواسطة تيار آلية الحركة ت_١ :

$$م_d = \frac{ج}{ت_1}$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة ت_١ ، م_د ، يمكن حساب المقاومة م_ج التي يجب إضافتها بالتوصيل على التوالي ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_ج = \frac{ج}{ت_1} - م_d$$

مثال :

ما مقدومة التولي لفلطر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلت ، إذا كانت المقدومة الداخلية م_د = ١٠ ، وتيار آلية الحركة ت_١ = ٨ مل أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلت

ت_١ = ٨ مل أمبير

م_د = ١٠ Ω

المطلوب : مقاومة التوالى M

الحل :

$$M = \frac{E}{I} - M_d$$

$$10 = \frac{1000 \times 500}{8} =$$

$$10 - 62500 =$$

$$\Omega \ 62490 =$$

لكي يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلت عند انحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها $\Omega \ 62490$ على التوالى مع آلية الحركة .

بدشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن M هي نفسها المقاومة M ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس

الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(1) \quad M = \frac{E}{I} - M_d$$

$$(2) \quad \frac{(E_1 - E_2)}{I} = M$$

$$(3) \quad \frac{(E_2 - E_3)}{I} = M$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

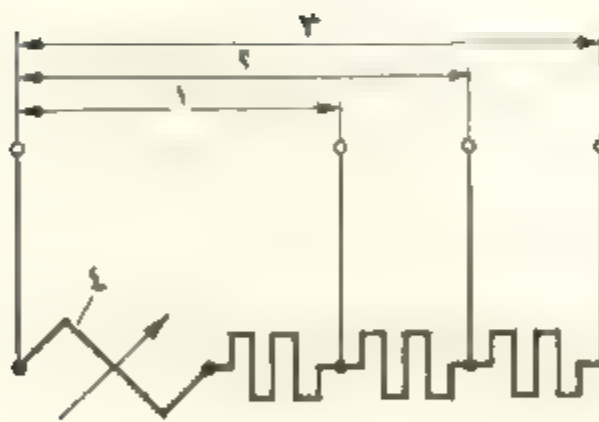
(ج) إطالة مدى القياس للأمترات :

إذا استخدم جهاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، فمن هذه الحالة يجب أن يكون للجهاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه في هذه الحالة يوصل على التوالى في الدائرة الكهربائية . ومن قوانين لدوائر والشبكات الكهربائية ،

نعلم أنه في حالة توصيل مقاومتين على التوازي ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهي توصيل مقاومة أخرى على التوازي مع آلية الحركة ، وذلك لتحسين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه في أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من الحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد في الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة R . لهذا السبب ، فبعد استخدام آليات حركة كأميترات يجب توصيل مقاوم R_j مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة (مثل المنجنين) ، لها قيمة لا تقل عن $1 \times R$ ، وذلك على التوالي مع آلية الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطي لدائرة أмитر .

وإذا رمز لمدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز T ، يمكن إيجاد مقاومة التوازي R_n ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$R_n = \frac{(R_j + R)}{(T - T_j)} \times T_j$$



شكل ٢٤١ : نظام بثلاثة مدى للقياس

- ١ - مدى القياس I مع R_j
- ٢ - مدى القياس II مع R_j
- ٣ - مدى القياس III مع R_j
- ٤ - آلية حركة .

مثال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة في المثال السابق ، كأميتر بمدى قياس من صفر إلى ٥٠ أمبير . فما قيم مقاومات التوالي ومقاومات التوازي ؟

المعطيات : $T = 50$ أمبير

$T_j = 8$ مللى أمبير

$R_j = 10 \Omega$

المطلوب : $I_{م}$ ، $I_{ن}$

الحل :

$$(1) \quad I_{م} = 4 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-3} \text{ أ } 40 \text{ أ}$$

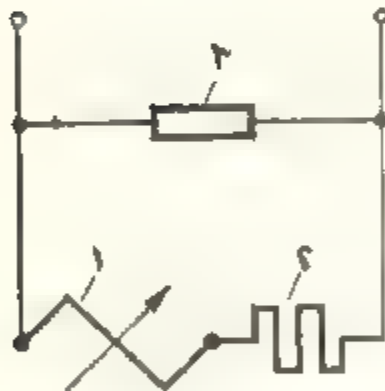
$$(2) \quad I_{ن} = \frac{(I_{م} + I_{ن})}{I_{ن} - I_{م}} \times 10^{-3} = 0,008 \times \frac{40 + 10}{0,008 - 0,004} = 0,008 \times \frac{50}{0,004} = 100 \text{ أ}$$

$$0,008 \times \frac{50}{0,004} =$$

$$0,008 \times 100 =$$

$$\underline{\underline{0,8 \text{ أ}}}$$

في هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالى مقاومة قيمتها 40 أ ، وللمقاومات التوازى مقاومة قيمتها حوالى $0,8 \text{ أ}$ ، إذا كان مدى قياس الأميتر من صفر إلى $0,8 \text{ أ}$ أمبير .



شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس

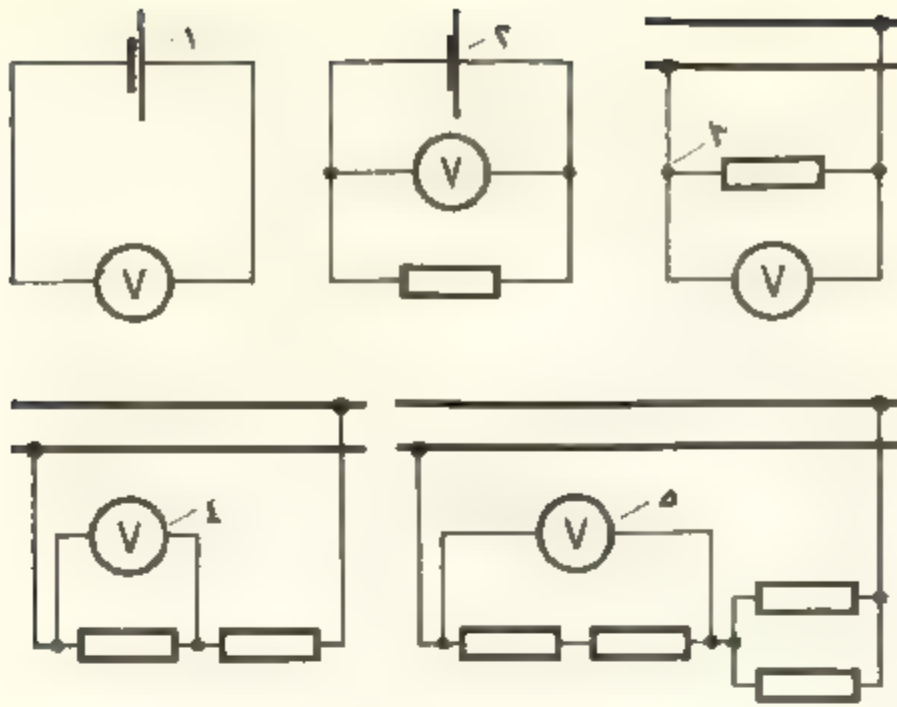
١- آلية حركة .

٢- مقاومة توالى $I_{م}$

٣- مقاومة توازى $I_{ن}$

(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢٤٩ جهاز قياس نقلى متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميمات متعددة ، ومدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، ويستخدم هذا التصميم كثيرا في أعمال الإصلاح .



شكل ٢٤٤ :
رسم تخطيطي يبين
ترتيبات لقياسات
الجهد

- ١ - فللمتر على التوازي مع مصدر الجهد .
 - ٢ - فللمتر على التوازي مع مصدر الجهد ومقاوم .
 - ٣ - فللمتر على التوازي مع نظام التغذية ومقاوم .
 - ٤ - فللمتر على التوازي مع مقاوم على التوالي .
 - ٥ - فللمتر على التوازي مع مقاومين في شبكة مختلطة ن (٤) ، (٥) .
- لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد في المقاومات .

٩/٣ - وصف لوضع دوائر قياس :

دوائر قياس الجهد :

لقياس الجهود ، يوصل الفللمتر على التوازي مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٤) .

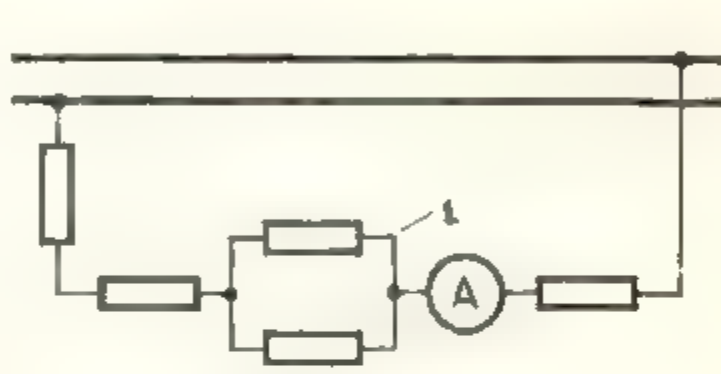
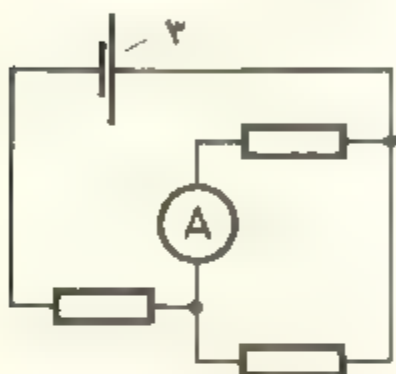
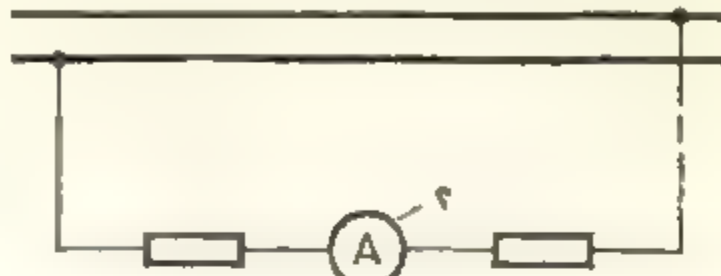
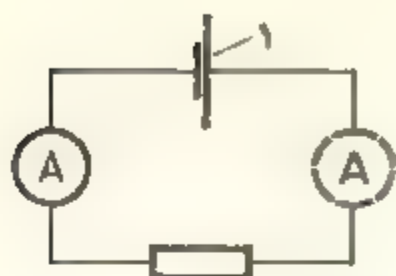
دوائر قياس التيار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالي مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٥) .

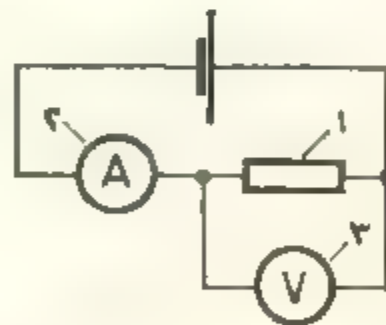
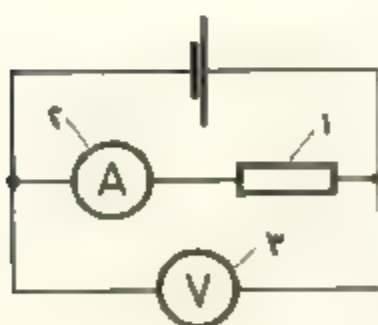
(١) دوائر قياس لتأكيد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة نقطة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هي الطرق التي

نحسب فيها الكمية المجهولة من كيتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة $\frac{V}{I}$. وهذا يعني ، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطي لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار
 ١ - أميتر على التوالي مع مقاوم .
 ٢ - أميتر على التوالي مع مقاومين .
 ٣ - أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة .
 ٤ - أميتر في شبكة مختلطة .

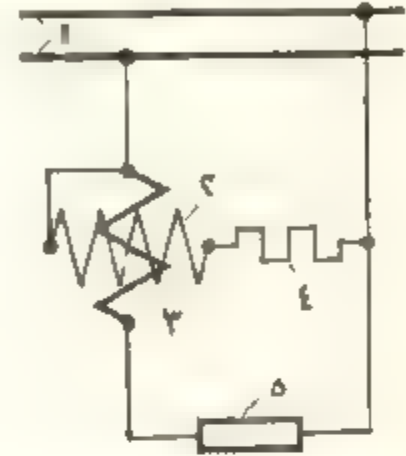
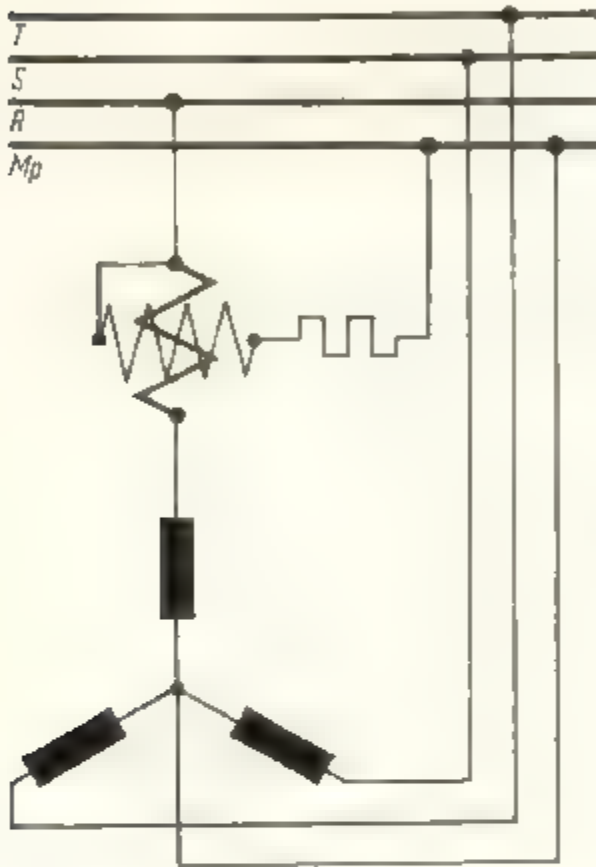


شكل ٢٤٧ : دائرة قياس مهياة لقياسات التيار
 ١ المقاومة المراد لياسها .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - فلطميتر .

شكل ٢٤٦ : دائرة لياس مهياة لقياسات الجهد
 ١ - المقاومة المراد لياسها .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - فلطميتر .

وبين الشكلان ٢٤٦ و ٢٤٧ تمثيلا لدائرتي قياس لتعيين المقاومة .

وس هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس وفي الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلظمتر على الحسوط في الجهد ، الذي يسببه الأميتر . وفي الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار في الفلظمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التي تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



شكل ٢٤٨ : قياس القدرة في شبكية تيار مستمر أو شبكية تيار متردد أحادي الطور
١ - شبكية .

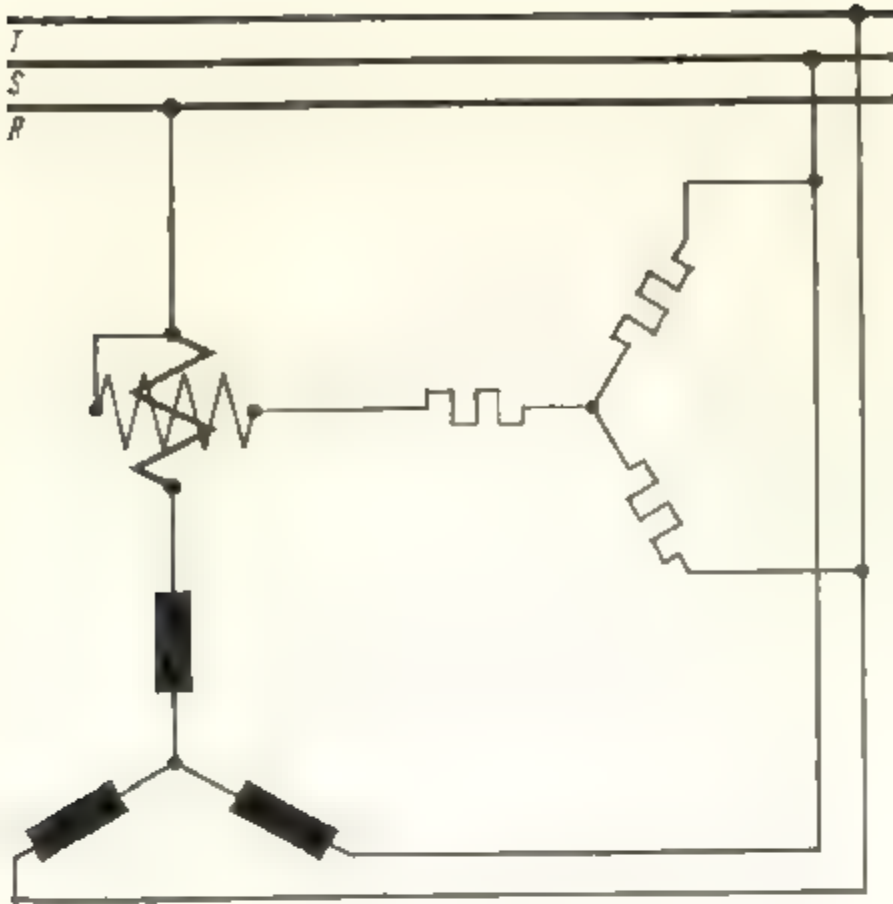
- ٢ - ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
- ٣ - ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
- ٤ - مقاوم توالي .
- ٥ - جهاز كهربائي .

شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلظمتر في نظام بأربعة أسلاك . في هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلا .

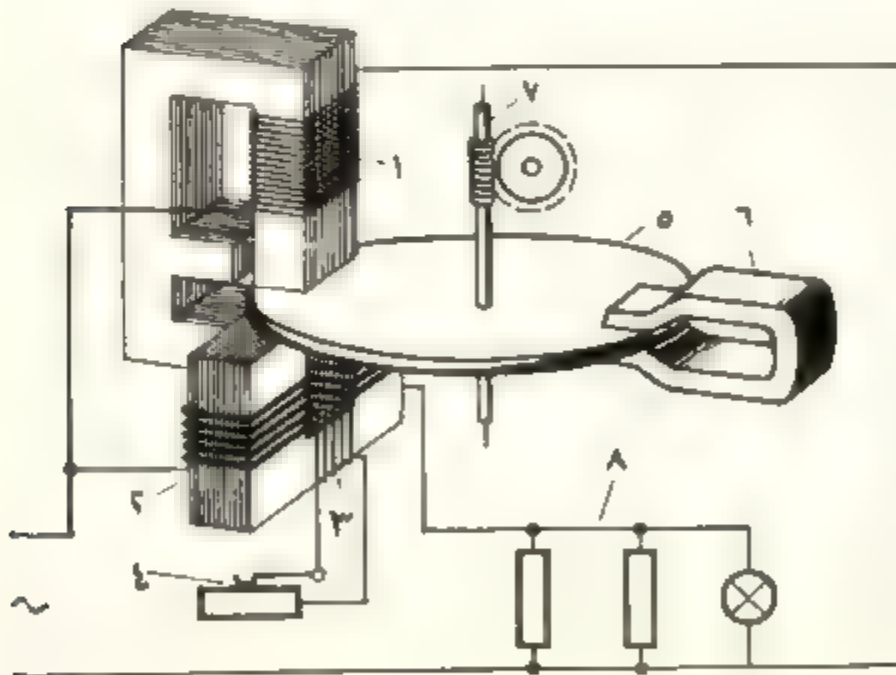
وعلى أساس هذه الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجته مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيار ، وكانت المقاومة الداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفي حالة ترقية دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة الداخلية للفلظمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : (الشكل ٢٤٨)

وهي أجهزة قياس القدرة ، والتي تعرف أيضا بالواطترات (الشكل ٢٤٩ والشكل ١٢٥) ، وهي تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالي لملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس القدرة بواسطة ملطمر في نظام ثلاثة أسلاك ونقطة تعادل صناعية وفي هذه الحالة ، تكون القيمة المقاسة دقيقة فقط إذا كان الحمل متماثلاً .



شكل ٢٥١ : قياس الشغل الذي يبذله تيار بواسطة جهاز قياس حثي .

- | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| ١ - ملف الجهد . | ٢ - لفيفات مساعدة . | ٣ - ملف تيار . |
| ٤ - مقاوم متغير . | ٥ - قرص ألومنيوم . | ٦ - مفتاح مضادة . |
| ٧ - حلزون فقل للعداد . | | ٨ - أجهزة كهربائية . |

(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من ح \times ت \times ز للتيار المستمر ، ومن ح \times ت \times ر \times جتا Φ للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بمحرك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل (٢٥١) تصميم و رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس الساعة من النوع الحثى ،
والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هذا الجهاز يتح عزم لى فى قرص من الألومنيوم دور ، وذلك بواسطة ممطيسين كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهم التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ، ويوجد منف مساعد ، ووصل بمقاومة متغيرة . وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم الى ، ومضادة التيار اندوامى التى يسببها الممطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع ح \times ت \times جتا Φ .
تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط ساعة (ك . و . س .) .

via	عن طريق	weston normal cell	خلية ويستون الإمامية
visible signal	إشارة مرئية	windings	لفيفات
voltage drop	هبوط لفلطية	wireless	لاسلكى
voltage source	مصدر الجهد	wire wound resistor	مقاوم من السلك الملفوف
wave	موجة	work	شغل
wave filter	مرشح موجة	zero position	وضع الصفر
wave guide	دليل الموجة		
wave length	طول لموجة		

size	مقاس - طراز	three - phase	ثلاثي الطور
slot	شق	thermal	حرارى
smelting furnace	فرن صهر	thermistor	ترمستور
socket outlet	مخرج مقبس	thermoplastics	لدائن حرارية
soft iron	حديد رحو (مطاوع)	thermosetting plastics	لدائن مصلدة حراريا
specimen	عينة	time constant	ثابت زمن
speed of rotation	سرعة الدوران	torque	عزم ط
spherical	كروي	torsion balance	ميزان إلتواء
spot	بقعة	toy motor	محرك كهربائي دمية
stability	اتزان - استقرار	transducer	محول طاقة
star connection (star junction)	توصيلة نجمة	transferring	نقل
startability	المقدرة على بدء الحركة	transformer	محول
stationary	ثابت	transformation	تحويل
stator	عضو ساكن	transient deflection	إنحراف عابر
steatite	إستيتيت (حجر صابون)	transmissibility	منقولية (قابلية للنقل)
strip	شريحة	transmission	نقل
structure	تركيب	transmitter	مرسل
switch gear	مجموعة مفاتيح التشغيل	trigonometric	مثلثية
switching devices	نابض تشغيل المفاتيح	trimming	تشذيب المصبوبات
synchronization	تزامن	tubular	أنبوبي
synchronously	بتزامن	tuning oscillation	دائرة موالفة التذبذبات
system	نظام	turns	لفات
temporal	مؤقت	two - phase	ثنائي الطور
tensile force	قوة شد	type	طراز
tension	توتر	vacuum	فراغ
terminal	طرف توصيل	variable	متغير
testing	إختبار	vector	متجه
therapy	علم العلاج الطبي	velocity	سرعة

precision	دقة	repulsion	تأافر
press board	ورق مضغوط	residual magnetism	مغناطيسية متبقية
primary circuit	دائرة ابتدائية	resistance	مقاومة
primary magnetomotive force	قوة دفعة مغناطيسية ابتدائية	resistance bridge	قنطرة قياس المقاومة
propagation	إمتداد - انتشار - انتقال	resistivity	مقاومية
property	خاصية	resistor	مقاوم
prototype meter	متر إمامى	saturation	تشبع
quotient	خارج قسمة	saturation limit	حد التشبع
radial	فى اتجاه نصف القطر	scale	تدرج
range	مدى	scanning	مسح
rate	معدل	schematic representation	تمثيل تخطيطى
rated voltage	جهد محتمل	screening	حجب
reactance	مفاعلة	screwdriver	مفك
reactive	غير فعال	secondary current	تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
reading	قراءة	sector	قطاع
recording	مسجل	selection	إختيار
reciprocal	مقلوب	selector switch	مفتاح إنتقاء كهربائى
rectangle	مستطيل	self - induction	حث ذاتى
rectifier	مقوم	semi - conductor	شبه موصل
reed	ريشة	semolina	صميد
regulating switch	مفتاح منظم كهربائى	sensitive	حساس
relative permeability	نفاذية نسبية	shaft	عمود إدارة
relay	متابع - مرحل	short circuit	دائرة قصر
remanence	إستبقائية	short wave	موجة قصيرة
rheostat	ريوستات (مقاومة صغيرة)	sine	جيب الزاوية
rotating machine	مكنة دوارة	single phase	أحادى الطور
rotor	عضو دوار	sinusoidal	جيبى

magnetic	مغناطيسي	palm	راحة اليد
magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسي	paper lining	بطانة من الورق
magnetism	مغناطيسية	parabolic heater	مسخن بشكل قطع مكافئ
magnetite	مغنتيت (حجر المغناطيس)	paramagnetic	بارا مغناطيسي
magnetization	مغطة - تمغنط	peak value	قيمة الذروة
magnetized	تمغنط	peculiarities	خصوصيات
magnetometer	مقسطوتر (جهاز قياس شدة المجالات اللا كهربية)	pendulum	بندول
magnitude	مقدار	period	دورة
measuring bridge	قنطرة قياس	periodicity	دورية
mechanical	ميكانيكي	periodic time	دورة (زمن دوري)
media	أوساط	permanent	دائم
medium	وسط	permeability	نفاذية
mesh circuit	دائرة مقفلة	permissible	مسموح به
molecule	جزيء	phenomena	ظاهرة
moving coil	جهاز قياس يحمل متحرك	physician	فيزيقي
moving iron instrument	جهاز قياس بحديد متحركة	physiological	فسيولوجي
mutual	متبادل	pivot	محور ارتكاز
necked - down	مخصر	plastics	لدائن
negative charge	شحنة سالبة	polarity	قطبية
network	شبكة	polarization	استقطاب
neutral point	نقط تعادل	pole	قطب
non-conductor	غير موصل	pole changer	مغير القطب
non-hardened	غير صلد	portable	نقل
ohmic resistance	مقاومة أومية	potental difference	فرق الجهد
oscillations	تذبذبات	potentiometer	بوتنشيو متر (مقاومة قياس فرق الجهد)
over lapping	متراكب	power factor	عامل القدرة
		power meter	عداد القدرة
		power station	محطة القوى

helical spring	زنبرك لولبي	insulation loss	فقد العزل
hertz	هيرتز (هز)	insulating material	مادة عازلة
h.f. reciever	مستقبل تردد عالي	interdependance	اعتماد متبادل (تبادلي)
h f. transmitter	مرسل تردد عالي	interference	تداخل
high frequency	تردد عال	interlinking	توصيل متبادل
homogeneous	متجانس	interrelation	علاقة متبادلة
horse shoe magnet	مغناطيس على شكل حذوة حصان	intensity	شدة
hypotenuse	وتر	ironless	لا حديدي
hysteresis loop	منحنى أنشوطي للمغناطيسية المتبقية	key switch	مفتاح كهربائي بذراع
		knob	زر
immersion heater	مسخن غاطس	lag	تحلف
impregnated	مشرب بالزيت	laminated fabrics	رقائق قماش
incandescent	مصباح متوهج	laminated papers	رقائق ورق
inconformity	مطابق	lamp holder	دواة مصباح
indicating instrument	جهاز بين	leakage current	تيار تسرب
indicator	مبين	lever arm	ذراع الرافعة
indivisible	غير قابل للانقسام	limits of error	حدود الخطأ
induced current	تيار منتج بالحث	lightening arrester	مانعة صواعق
inductance	محاثة	linear	خطي
inductive	حثي	lines of flux	خطوط الفيض
inductor	محث	live part	جزء مكهرب
influence	تأثير	load	حمل
inhomogeneous	غير متجانس	longitudinal section	قطاع طولی
in parallel	على التوازي	loop	حلقة
input	دخل	low voltage	جهد منخفض
in series	على التوالي		
installations	تركيبات	mains	ماخذ رئيسي
instantaneous	لحظي	magnet	مغناطيسي

electric charges	شحنات كهربائية	equipments	معدات
electric field	مجال كهربائي	equivalent	مكافئ
electricity	كهرباء	expansion	تمدد
electricity engineering	هندسة كهربائية		
electric meter	عداد كهربائي	factor	عامل
electric power	قدرة كهربائية	faulty connection	توصيلة خاطئة (بها عطل)
electrifiable	قابل للتكهرب	feed back	تغذية مرتجعة
electrification	كهربة	ferromagnetic substance	عنصر عالي الإنفاذية المغناطيسية
electro - chemical process	عمليات كيميائية كهربائية	field	مجال
electrode	إلكترود	filament resistor	مقاوم فتيلة التسخين
electrodynamic	ديناميكي كهربائي	finger contact	ملاص الإصبع
electrolytic	إليكتروليتي	flasher	وحدة ومضة
electromagnet	مغناطيس كهربائي	flux	فيض
electromagnetic	مغناطيس كهربائي	foils	رقائق
electrometer	جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي	frequency	تردد
electromotive force	قوة دافعة كهربائية	function	دالة
electron dificiency	قصور لإلكترون	fundamentals	أساسيات
electron excess	إلكترون زائد		
electroscope	مكشاف كهربائي (إلكتروسكوب)	galvanic cell	عمود جلفاني (خلية جلفانية)
electrostatic	إستاتيكي كهربائي	gap	ثغرة
electrothermal switch	مفتاح حراري كهربائي	generation	توليد
element	عنصر	generator	مولد
elongation	إستطالة	geometric	هندسي
energy	طاقة	glow lamp	مصباح متوهج
equation	معادلة - صيغة	graduation	تدريج
equilibrium	إتزان	harmonic oscillations	تذبذبات توافقية

commutator	عضو تبديل	deviation	انحراف
compact	متضام	device	نبيطة
conducting plate	لوح موصل	diagramatic	تخطيطي
conductivity	موصلية	diamagnetic	دايا مغنطيسي
conductor	موصل	dielectric	وسط عازل
configuration	تشكيل	dielectric strength	متانة العزل
constant	ثابت	dim light	ضوء خافت
contactor	ملامس - زر تلامس	direct current	تيار مستمر
continuity	استمرارية	disc	قرص
controlling	تحكم	discharge lamp	مصباح تفريغ
converter	محول مائة	displacement	إزاحة
coresheet	رقائق لصلب	divisibility	قابلية لتجزئة
cosine	جيب تمام	division	قسم
coulomb's law	قانون كولوم	drift velocity	سرعة الانسياب
counter	عداد	driving energy	طاقة دافعة
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة	duration	دوام
crystalline	بلوري	dynamic effect	تأثير ديناميكي
crystal structure	تركيب بلوري	dynamo	دينامو
current intensity	شدة التيار	earthing	تأريض
cycle	دورة	earth leakage	تسرب للأرض
cylindrical	اسطوانى	eddy currents	تيارات دوامية
		effective length	طور فعال
		efficiency	كفاءة - كفاية
damping	مضادة	elder pith electroscope	مكشاف كهربائى بكرة من نخاع البلسان
decay	اضمحلال	electrical circuit	دائرة كهربائية
decisive factor	عامل حاسم	electrical potential	جهد كهربائى
deflection	انحراف	electrical tension	جهد كهربائى
delta connection	توصيلة دلتا	electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)
density	كثافة		
deposited	مترسب		

المصطلحات الفنية

absolute	مطلق	capacitance	مواسعة
accumulators	مراكم	capacitive reactance	مفاعلة سعوية
air gap	ثغرة هوائية	capacitive resistance	مقاومة سعوية
alloy	سبيكة	capacitor	مواسع (مكثف كهربائي)
alternating	متردد	casing	غلاف
amber	كهرمان	cell switch	مفتاح خلايا كهربائي
ammeter	أميتر (جهاز قياس شدة التيار)	ceramic	خزفي
ampere balance	ميزان الأمبير	charges	شحنات
amplifier	مكبر	charging by influence	شحن بالتأثير
angular	زاوي	choke coil	ملف كايح للتيار
annealing furnace	فرن تدخين (تخمير)	characteristics	خصائص مميزة
antenna	هوائي	circular path	مر دائري
anticlockwise direction	اتجاه عكس عقارب الساعة	circular section	مقطع دائري
armature	عضو إنتاج	circuit arrangement	ترتيبة دائرة
arrangements	ترتيبات	circuit breaker	قاطع دائرة
atom	ذرة	circuit diagram	رسم دائرة
atomic theory	النظرية الذرية	circuit elements	عناصر الدائرة
attraction	تجاذب	classifications	تصنيف
asynchronous	لامتزامن	clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة
axle	محور	clutches	قابض
bar magnet	قضيب مغناطيسي	coefficient	معامل
bushing insulator	عازل نفاذي	coercive	قوة قهرية
buzzer	زنان	coercivity	قهرية
calibration	معايرة	coil	ملف
		coil frame	إطار الملف
		communications	اتصالات

سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الجداول الفنية (-)
- ٢ - الكيمياء الصناعية
- ٣ - الرسم الفني (-)
- ٤ - أشغال الخشب (التجارة)
- ٥ - التركيبات الكهربائية (+ ×)
- ٦ - هندسة السيارات (+ ×)
- ٧ - أفعال قطع المعادن (+ ×)
- ٨ - اللحام بالغاز ١ - (-)
- ٩ - اللحام بالغاز ٢ - (-)
- ١٠ - الإلكترونيات
- ١١ - المحرطة
- ١٢ - الأمان الصناعي
- ١٣ - براء النخمين
- ١٤ - هندسة الموتوسيكلات
- ١٥ - النظائر في البحث والصناعة
- ١٦ - الأساسيات الكهربائية ١ -
- ١٧ - الأساسيات الكهربائية ٢ - (×)
- ١٨ - هندسة الجرافات (×)
- ١٩ - أفعال المعادن (×)
- ٢٠ - اللحام بالغاز ٢ - (×)
- ٢١ - صناعة النسيج (×)

(-) نقد ومعاد طبعه

(+) طبعه ثانية

(×) تحت الطبع ويصدر نياحا .